



**KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH**

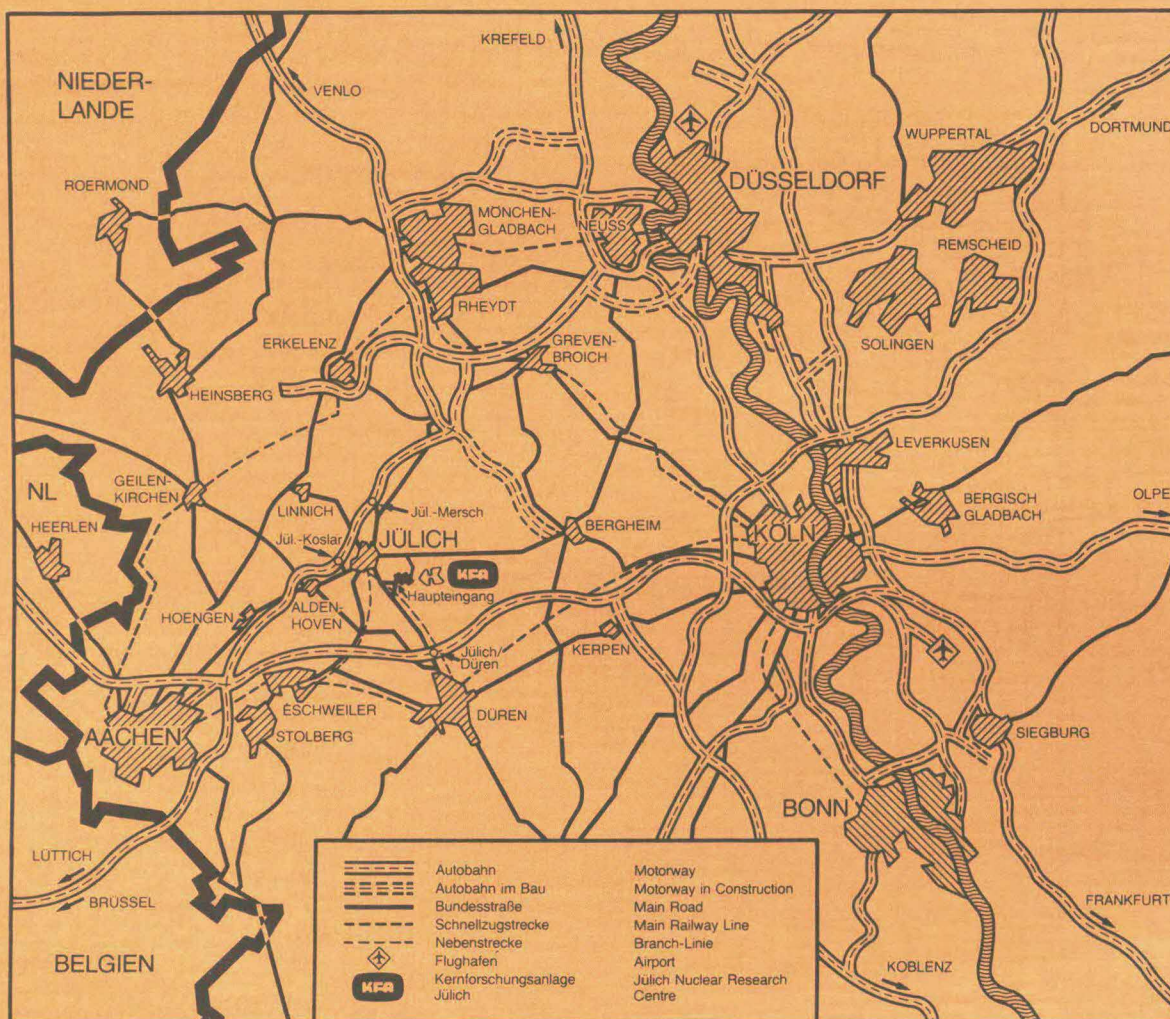
**Arbeitsgruppe COSY**

# **Kühler-Synchrotron COSY**

**TECHNISCHE BESCHREIBUNG  
(Stand August 1986)**

**Jül - Spez - 370  
September 1986  
ISSN 0343-7639**





Als Manuskript gedruckt

## Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 370

Arbeitsgruppe COSY Jül - Spez - 370

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 024 61/610 · Telex: 833 556-0 kf d

# **Kühler-Synchrotron COSY**

## **TECHNISCHE BESCHREIBUNG (Stand August 1986)**

auf der Basis von Beiträgen folgender Institutionen :

KFA Jülich : AP, ASI, IKP, ZEL

CANU (COSY-Arbeitsgemeinschaft  
nordrhein-westfälischer Universitäten) :  
Bochum, Bonn, Köln, Münster, Wuppertal;  
Erlangen-Nürnberg, Freiburg, Tübingen

CERN Genf, KfK Karlsruhe, TH Eindhoven  
und Institut für Kernforschung Warschau



U. Bechstedt<sup>2)</sup>, G. P. A. Berg<sup>1)</sup>, U. Hacker<sup>2)</sup>, H. Hagedoorn<sup>3)</sup>,  
A. Hardt<sup>2)</sup>, K. Henn<sup>2)</sup>, F. Hinterberger<sup>4)</sup>, P. Jahn<sup>1)</sup>, K. Kilian<sup>1)</sup>,  
W. Klein<sup>2)</sup>, H. R. Koch<sup>1)</sup>, M. Köhler<sup>5)</sup>, P. Krejcik<sup>2)</sup>, G. Kroel<sup>2)</sup>, H. Lang<sup>6)</sup>,  
S. A. Martin<sup>2)</sup>, K. Matela<sup>6)</sup>, T. Mayer-Kuckuk<sup>4)</sup>, N. Mosko<sup>6)</sup>, H. Poth<sup>7)</sup>,  
D. Prasuhn<sup>1)</sup>, H. J. Probst<sup>1)</sup>, A. Richert<sup>2)</sup>, G. Riepe<sup>1)</sup>, M. Rogge<sup>1)</sup>,  
P. von Rossen<sup>1)</sup>, T. Sagefka<sup>2)</sup>, G. Schug<sup>2)</sup>, O. W. B. Schult<sup>1)</sup>,  
B. Seligmann<sup>7)</sup>, H. Singer<sup>2)</sup>, P. Turek<sup>1)</sup>, E. Veiders<sup>6)</sup>, G. Wüstefeld<sup>2)</sup>,  
L. Zemlo<sup>1), 8)</sup>

<sup>1)</sup> IKP, KFA Jülich; <sup>2)</sup> ASI, KFA Jülich; <sup>3)</sup> TH Eindhoven;

<sup>4)</sup> ISKP, Univ. Bonn; <sup>5)</sup> ZEL, KFA Jülich; <sup>6)</sup> AP, KFA Jülich;

<sup>7)</sup> CERN Genf und KfK Karlsruhe;

<sup>8)</sup> Institut für Kernforschung Warschau



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. BESCHREIBUNG DER ANLAGE	4
2.1    Kurzbeschreibung	4
2.2    Ionenoptische Auslegung	7
2.3    Betriebsarten	11
2.3.1    Injektion und Einfang	11
2.3.2    Beschleunigung	14
2.3.3    Phasenraumkühlung	15
2.3.4    Betrieb mit internem Target	16
2.3.5    Betrieb mit externem Target	16
3. KOMPONENTEN DER ANLAGE	17
3.1    Magnete	17
3.2    Netzgeräte	26
3.3    HF-System	28
3.4    Elektronen-Kühler	34
3.5    Stochastisches Kühlen	37
3.6    Strahldiagnose	38
3.7    Vakuum-System	43
3.8    Instrumentierung	45
3.9    Targetplätze	50
3.10    Strahlenschutz und Personen-Sicherheit	51
3.11    Gebäude, Ver- und Entsorgung	55
4. ANHANG	58
4.1    Referenzen	58
4.2    Verzeichnis der COSY-Notes	66
4.3    Symbole - Koordinaten - Nomenklatur	73
4.4    Abbildungen	76





## 1. EINLEITUNG

Seit 1980 werden in der Region Nordrhein-Westfalen Pläne zur optimalen Nutzung der kernphysikalischen Großgeräte der KFA und zu deren Modernisierung und Ausbau diskutiert. Die wesentlichen experimentellen Anforderungen wurden in zahlreichen Gesprächen und Arbeitstreffen<sup>Be82,Co83,Be84,Co85,Jü86</sup>) mit Kollegen aus der Kern- und Mittelenergiephysik, vor allem aus Nordrhein-Westfalen konkretisiert. Daraus hat sich der Vorschlag für das Speicher- und Kühlersynchrotron COSY am IKP der KFA Jülich entwickelt, welches das vorhandene Zyklotron JULIC als Injektor nutzt. Die schon seit 1980 bestehende Zusammenarbeit wurde durch Gründung der "COSY-Arbeitsgemeinschaft nordrhein-westfälischer Universitäten" (CANU) unter dem Vorsitz von Prof. Dr. T. Mayer-Kuckuk formalisiert.

Nach einer Entscheidung des Vorstandes der KFA wurde im Herbst 1985 eine "Arbeitsgruppe Vorbereitung COSY" gebildet, um die vorliegende technische Beschreibung zum Bau des Kühler-Synchrotrons COSY auszuarbeiten, sowie den Aufwand abzuschätzen. Die Beschreibung basiert auf dem unveränderten Maschinenkonzept, das im Juni 1985 vorgestellt wurde. Eine detaillierte Kostenaufstellung erscheint gesondert.

Die vorliegende Beschreibung zeigt, wodurch sich COSY besonders auszeichnet. COSY ist als Speicherring mit Phasenraumkühlung geplant, der Strahlen hoher Phasenraumdichte liefert. Dies wird durch einen besonders kleinen Strahlphasenraum erreicht. Charakteristisch ist weiterhin der große dynamische Energiebereich (40 MeV - 2.5 GeV bzw. 0.28 - 3.3 GeV/c). COSY wird sowohl externe Strahlen liefern als auch Experimente an internen Targets erlauben, mit denen hohe Luminositäten erreichbar sind. Die Maschine zeichnet sich durch große Variabilität der ionenoptischen Strahleigenschaften aus. Hierzu dienen insbesondere die Quadrupolanordnungen in den beiden langen geraden Sektionen,

die auch mechanisch einfach verändert werden können. In diesen geraden Strecken sind optimale ionenoptische Bedingungen für eine Vielzahl von Anwendungen einstellbar, wie z.B. für die Elektronenkühlung oder den internen Targetbetrieb. Aber auch für atomphysikalische Experimente u.a. mit überlappendem Laserstrahl oder für die Beeinflussung der Strahlpolarisation mit Solenoiden sind diese geraden Strecken besonders gut geeignet.

Die angestrebte exzellente Strahlqualität wird völlig neuartige Experimente im Bereich der Kern- und Mittelenergiephysik ermöglichen. Im Energiebereich oberhalb der für Pionenfabriken typischen Energie von 0.8 GeV existieren außer dem Saturne-Ring in Saclay<sup>Ar85)</sup> keine energievariablen Beschleuniger, die Protonenstrahlen hoher Phasenraumdichte liefern können. In Uppsala<sup>Jo84)</sup> und Indiana<sup>Co86)</sup> sind Kühler-Synchrotrons für Protonenstrahlen ähnlich wie COSY, jedoch mit wesentlich geringeren Strahlenergien im Bau. Hohe Energie ist aber für viele besonders interessante Fragestellungen wichtig. Außerdem soll COSY im Gegensatz zu den genannten Kühlerringen von Anfang an externe Protonenstrahlen liefern. Dies ist für viele Präzisionsexperimente eine Voraussetzung und erweitert die experimentelle Flexibilität.

Komplementäre Experimente mit Elektronen und  $\gamma$ -Strahlen am nahegelegenen Elektronenspeicherring ELSA in Bonn sowie mit Antiprotonen am LEAR sind im selben Energiebereich mit ähnlichen experimentellen Anordnungen möglich. Besonders die Komplementarität der Mittelenergieexperimente mit verschiedenen Strahlen macht eine Anlage wie COSY unbedingt erforderlich. Für Studenten können in diesem Rahmen anspruchsvolle Ausbildungsplätze zur Verfügung gestellt werden, die in den 90er Jahren wissenschaftlich attraktiv sind und den Umgang mit modernsten Techniken erfordern.

Ein Überblick über die an COSY möglichen Experimente und die physikalischen Ziele wurde bereits im COSY-Proposal vom Juni 1985 gegeben. Einige typische Schlüsselexperimente werden in einem gesonderten Dokument mit ihrer Motivation und den apparativen Details genauer beschrieben.

Die Kombination von COSY mit den existierenden Großgeräten des IKP (Zyklotron JULIC mit ECR-Ionenquelle ISIS, Spektrometer BIG KARL, QGD-Pionenspektrometer<sup>So84</sup>),  $\gamma$ -Spektrometer OSIRIS) ist wissenschaftlich sehr attraktiv. Eine große Zahl interessanter Experimente der ersten Generation wird mit verhältnismäßig geringem Aufwand durchführbar. Ermöglicht wird dies u.a. durch

- \*  $H_2^+$ -Ladungswechsel-Injektion vom Zyklotron JULIC
- \* Elektronenkühlung bei Injektionsenergie
- \* Stochastische Kühlung
- \* Langsame Extraktion in die Zyklotronexperimentierhalle mit drei Experimentierzonen
- \* Spektrometer BIG KARL mit COSY-Strahl am gegenwärtigen Platz
- \* Interne Targets

Erweiterungen können nach Bedarf Zug um Zug vorgenommen werden. Sie sind im vorgelegten technischen Konzept von COSY insoweit berücksichtigt, daß ein späterer Einbau keine grundlegende und damit teure Änderung der Anlage erfordern wird. Hierzu könnten gehören

- \* Kicker-Injektion
- \* Polarisierte Quelle
- \* Leichtenstrahl von ISIS-JULIC
- \* BIG KARL am internen Target
- \* Polarisiertes internes Target
- \* Extraktion in die COSY-Halle
- \* Gepulster Strahl
- \* Sekundäre Ionenstrahlen aus internem Target

sowie als spätere Ausbauoptionen zur Erhöhung der Intensität

- \* Schnellerer Zyklus
- \* Zwischenbeschleuniger (Booster)

Ein Teil der Experimentiereinrichtungen kann von den jeweils interessierten Hochschulgruppen in Verbindung mit der KFA geplant und realisiert werden.

COSY ist eine flexible und ausbaufähige Forschungseinrichtung, die in ihren spezifischen Eigenschaften konkurrenzlos ist und neben dem IKP der KFA auch Universitäten und Forschergruppen der Bundesrepublik und anderer Länder hervorragende Forschungsmöglichkeiten bieten wird.

## 2. BESCHREIBUNG DER ANLAGE

### 2.1 Kurzbeschreibung

Das Kühler-Synchrotron COSY wird sich in einer Halle befinden, die in räumlicher Anbindung an die bestehende Nordhalle des Zyklotrongebäudes, wie in Abb. 1 gezeigt, neu errichtet wird. Die Teilchen laufen im Ring im Uhrzeigersinn. Für Lage und Umlaufsinn waren entscheidend:

- \* die Verwendung der Nordhalle mit dem Spektrometer BIG KARL und dem Meßbunker M2 als externe Experimentierplätze TPEX1-3 am COSY,
- \* die Möglichkeit, BIG KARL zum internen Targetplatz TP1 zu verschieben,
- \* kurze Wege zu den Infrastrukturräumen des Zyklotrongebäudes
- \* spätere Erweiterungsmöglichkeiten für Experimentierplätze (TPEX4-5).

Die Injektion vom Zyklotron wird über eine Verlängerung der Strahlführung von dem Schaltmagneten SM3 über F in die COSY-Halle geführt. Etwa parallel dazu mit umgekehrter Strahlrichtung wird der extrahierte Strahl geführt.

In einem Anbau an der westlichen Stirnseite der COSY-Halle befinden sich Räume für die Unterbringung von Steuer- und Auswertegeräten sowie Rechner. Außerdem sind in diesem Anbau die 10 kV-Schaltanlage, die Niederspannungs-Ver-



teilung und die Lüftungsanlage sowie im Untergeschoß die Pumpstationen der Kühlkreisläufe untergebracht. Im Verbindungsbau zwischen Nordhalle und COSY-Halle werden die Netzgeräte für die Magnete aufgestellt. Der COSY-Ring ist aus Strahlenschutzgründen nach allen Seiten durch Betonwände abgeschirmt. Die längsseitigen Außenwände aus Festbeton sind Bestandteil der Hallenwände. Alle anderen Abschirmwände und die Abdeckung sind stapelbar und können mit dem Hallenkran von 320 kN Tragkraft versetzt werden.

Der COSY-Ring hat einen Umfang von 183.5 m; das entspricht dem 20fachen des Zyklotronumfangs am Extraktionsradius. Wie Abb. 2 zeigt, besteht der Ring aus 6 identischen Perioden, die durch zwei lange gerade Strecken unterbrochen sind. Diese Strecken gestatten den Einbau interner Experimente (TP1, TP2), des Elektronenkühlers und anderer Komponenten. Besonderer Wert wurde bei der Ringauslegung auf variable Ionenoptik gelegt, so daß die Arbeitspunkte und die Strahleigenschaften über weite Bereiche einstellbar sind: z.B. kann die Dispersion am internen Targetplatz TP1 zwischen 0 und 60 m variiert werden. Um ausreichend Platz für Instrumentierung, Strahldiagnose, stochastisches Kühlen, Korrekturmagnete (z.B. Sextupole), Pumpstationen sowie für spätere Experimentiermöglichkeiten (z.B. TP3) zur Verfügung zu haben, wurden die Biegemagnete als C-Typ-Dipole ausgelegt, und zwischen den magnetischen Elementen wurden freie Strecken vorgesehen. Die Strahlhöhe des Rings über dem Hallenboden beträgt 180 cm, um genügend Platz für Installationen unterhalb des Strahlrohres (z.B. Gasjettarget, Elektronenkanone) zur Verfügung zu haben. Die wichtigsten Maschinenparameter sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Um die Vakuumforderung von  $10^{-10}$  mbar für den Speicherringbetrieb zu erreichen, ist ein in situ bis 300 °C ausheizbares Vollmetallsystem vorgesehen. Das Beschleunigungssystem besteht aus einer Ferrit-abgestimmten Kavi-

Tabelle 1: Parameter für COSY

Umfang	183.47	m
Ablenk-Radius in den Dipol-Magneten	7.0	m
Dipol-Feld für:		
Injektions-Energie 40 MeV Protonen	0.13	T
Maximal-Energie 2.5 GeV	1.58	T
Freie Länge für die Kühlstrecke	8.00	m
Freie Länge für Targetplatz TP1 (BIG KARL, Abb. 2)	4.00	m
β-Funktionen am Targetplatz TP1:		
Horizontal:	variabel	$0.3 \text{ m} < \beta_x < 80.0 \text{ m}$
Vertikal:	variabel	$0.4 \text{ m} < \beta_z < 80.0 \text{ m}$
Dispersion am Targetplatz TP1:	variabel	$0 \text{ m} < D < 60.0 \text{ m}$
Gekühlte Emittanz (Elektronen-Kühlung):	$E_x$ und $E_z < 0.2 \pi \text{ mm mrad}$	
	$\Delta p/p < 0.01 \%$	
Frequenz-Bereich ( $h = 1$ ):	0.46 MHz - 1.6 MHz	
Vakuum:	$< 10^{-10}$	mbar

tät, die mit der Umlauffrequenz beschleunigt ( $h=1$ ). Zur Erhöhung der Effektivität bei der Injektion und für Strahlmanipulationen im Zeitbereich wird eine 27.6 MHz Kavität ( $h=60$ ) eingesetzt. Die Instrumentierung von COSY erfolgt als System mit verteilter Intelligenz. Die einzelnen Komponenten können auch unabhängig von einem Rechner betrieben werden.

Als Injektor dient das Isochronzyklotron, das nach Aufbau der externen ECR-Ionenquelle ISIS leichte Teilchen bis etwa  $^{20}\text{Ne}$  liefert. Zunächst sollen Protonen von 40 MeV durch Ladungswechsel von  $\text{H}_2^+$  in COSY injiziert werden. Die Strahlführung vom Schaltmagneten SM3 bis zur Umladefolie am Dipol MD23 ist in Abb. 4 dargestellt. Der extrahierte Strahl wird in die bestehenden Meßräume der Nordhalle geführt. Eine weitere Extraktion ist vorgesehen, um den Strahl schnell aus dem Ring zu lenken und um die optionalen Experimentierplätze TPEX4-5 zu versorgen.

Um die hohe Phasenraumdicke des COSY-Strahls zu erreichen, sind Systeme zum stochastischen Kühlen und Elektronenkühlen vorgesehen. Abb. 2 zeigt die Position des Elektronenkühlers im Kühlerteleskop. Der Kühler wird im Bereich 20-100 keV arbeiten und somit Protonen von der Injektionsenergie 40 MeV bis 180 MeV kühlen. Für die höheren Energien sind Systeme für transversales und longitudinales stochastisches Kühlen geplant. Die Signalleitungen dafür sind in Abb. 2 gezeigt.

Es wird erwartet, daß bei 40 MeV maximal etwa  $3 \cdot 10^{11}$  Protonen in den COSY-Ring injiziert werden können. Die Zykluszeit ist bei 3.3 GeV/c durch die Magnet-Energieversorgung auf  $> 3.6$  s begrenzt. Bei niedrigeren Impulsen ergeben sich entsprechend kürzere Zeiten. Ein Beispiel für einen typischen Maschinenzyklus zeigt Abb. 3. Der Strahl kann entweder mit sehr kleiner horizontaler Emittanz von  $E_x < 0.5 \pi$  mm mrad und einer Impulsschärfe von besser als  $\Delta p/p = 10^{-4}$  externen Experimenten zur Verfügung gestellt oder an den internen Targetplätzen verwendet werden. Bei interner Strahlnutzung ist geplant, mit dünnen Targets ( $< 0.1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ), guter Auflösung und Luminositäten bis maximal  $10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  oder im Rezirkuliermode mit Targetdicken  $> 1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  und hohen Luminositäten bis etwa  $10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  zu messen.

## 2.2 Ionenoptische Auslegung

Die Ionenoptik des Magnetsystems von COSY hat sich entwickelt aus einer Vielzahl von experimentellen und beschleunigerbedingten Anforderungen wie Speicherbetrieb, großer dynamischer Energiebereich, hohe Phasenraumdicke, Elektronen- und stochastisches Kühlen, interne und externe Targets.

Es ergab sich, daß ein Ring aus 6 identischen Perioden und 2 langen geraden Strecken, wie in Abb. 2 dargestellt, diese Anforderungen erfüllt. Die wichtigsten Eigenschaften des Rings sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefaßt.

Tabelle 2: Strahleigenschaften

- a) bei Einstellung für Dispersion = 16 m an TP1  
 b) Einstellung für hohe Akzeptanz im Ring  
 c) Einstellung für Stripping-Injektion ( $\beta_x = 7m$ ,  $\beta_z = 15.4 m$  an Umladefolie)

Arbeits-Punkte:

	a)	b)	c)	
$Q_x =$	2.70	3.15	3.87	
$Q_z =$	3.60	3.10	4.12	
$\gamma_{tr} =$	0.9	1.5	2.4	
<hr/>				
TP1: $\beta_x =$	5.4	2.3	4.6	m
$\beta_z =$	6.3	14.0	2.8	m
$D =$	16.3	5.2	3.3	m
TP2: $\beta_x =$	1.8	4.3	2.1	m
$\beta_z =$	4.6	2.1	10.5	m
$D =$	0.0	0.0	0.0	m
TP3: $\beta_x =$	20.5	15.1	4.7	m
$\beta_z =$	12.7	14.3	15.8	m
$D =$	30.9	13.0	4.1	m
Maxima der Lattice-Funktionen (I = Biege-Sektionen, II = Teleskop-Sektionen):				
I: $\beta_x =$	30.4	16.0	25.1	m
$\beta_z =$	12.8	16.7	15.9	m
$D =$	38.1	13.4	7.6	m
II: $\beta_x =$	103.4	26.3	46.9	m
$\beta_z =$	20.1	32.6	24.0	m
$D =$	68.9	16.2	10.2	m

Akzeptanz (95 % der Intensität; I = horizontal, II = vertikal; III = maximale Impuls-Akzeptanz):

I: $A_x =$	90	162	94	$\pi$ mm mrad
II: $A_z =$	38	23	57	$\pi$ mm mrad
III: $\Delta p/p =$	0.2 %	0.4 %	0.6 %	



Mit der gewählten Struktur der Perioden

0-F-0-B-0-D-0-B-0-B-0-D-0-B-0-F-0

(0 = Drift-Strecke, F = Quadrupol, fokussierend, D = Quadrupol, defokussierend, B = Dipol)

Ist es möglich, einen großen Bereich von Arbeitspunkten ( $Q_x$ ,  $Q_z$ ) zwischen 2.5 und 5 einzustellen. Gleichzeitig kann damit für nahezu alle Arbeitspunkte die Dispersion in den Teleskopen zu Null gemacht werden. In Tabelle 2 sind einige Ringeigenschaften bei 3 Arbeitspunkten für ein internes Target am TP1, hohe Ringakzeptanz und ein typisches Beispiel für die Stripping-Injektion (nahe  $Q_x = 3.9$  und  $Q_z = 4.1$ ) beschrieben. Die dazugehörigen Latticefunktionen sind in Abb. 5 - 7 gezeichnet. Für die Rechnungen wurden die Programme TRANSPORT<sup>Br80</sup>), MADIs<sup>84</sup>) und MIRKO<sup>Fra85</sup>) benutzt.

Beim Injektionsarbeitspunkt wurde die chromatische Arbeitspunktverbreiterung berechnet und in Abb. 8 im Resonanzdiagramm für die Supersymmetrie  $S = 6$  und  $S = 1$  dargestellt.

Die Sollbahnkorrekturen erfolgen mit 12 magnetischen Dipolen für die horizontale und vertikale Richtung. Die Chromatizität wird korrigiert mit 24 Sextupolmagneten.

Die Länge der kurzen geraden Strecken von 3 m läßt genügend Platz für die Korrekturalelemente sowie die Elemente für stochastische Kühlung, Pumpen, Diagnose, Instrumentierung und Experimente (TP3). Die beiden etwa 40 m langen geraden Strecken sind als Teleskope mit einer 1:1-Abbildung (Kühler-Teleskop, Target-Teleskop) ausgebildet. Jedes Teleskop besteht aus 4 spiegel-symmetrisch angeordneten Quadrupol-Quadrupletts, die elektrisch so geschaltet sind, daß sie als Tripletts arbeiten. Dabei bilden jeweils die beiden mittleren Quadrupole eines jeden Quadrupletts die zentrale Triplet-Linse. Damit sind die chromatischen Fehler kleiner als bei Quadrupoldubletts, und es wird wesentlich

größere Flexibilität bei der Einstellung der optischen Parameter möglich. Bei einem Phasenvorschub von  $2\pi$  in den Teleskopen erfolgen alle im folgenden beschriebenen Einstellungen unter Beibehaltung des Arbeitspunktes im Synchrotron.

Im Kühler-Teleskop steht die für den Elektronen-Kühler benötigte Einbaulänge von 8 m zur Verfügung. Die Optik ist so einstellbar, daß für verschiedene Arbeitspunkte der Strahl im Ring an die Akzeptanz des Elektronenkühlers angepaßt ist. Gleichzeitig bietet dieses Teleskop geeignete Orte für den Einbau emittanz-definierender Blenden, für eine Kicker-Septum-Kombination (schnelle Extraktion) sowie für Pick-Up-Elemente für das stochastische Kühlen. Außerdem ist in dieser Sektion die HF-Beschleunigungsstruktur RHF1 an einer dispersionsfreien Stelle positioniert.

Im Target-Teleskop wird die für die Experimente an den internen Targetplätzen TP1 (BIG KARL) und TP2 gewünschte Strahleigenschaft (Tabelle 2) eingestellt. Die Phasenellipse im Orts-Impuls- bzw. Orts-Winkelraum kann am Targetplatz (TP1) an die experimentellen Bedingungen innerhalb eines breiten Bereichs angepaßt werden (COSY-Notes 23,24,40 und 45). Damit kann die für hochauflösende Teilchenspektroskopie erforderliche kinematische Anpassung<sup>Ma83</sup>) realisiert werden (COSY-Notes 27 und 33).

Der kleinstmögliche einstellbare Wert der Betafunktionen an TP1 ist 0.3 m in horizontaler und 0.4 m in vertikaler Richtung. Mit dem Targetplatz TP2 steht ein zweiter Experimentierplatz zur Verfügung, an dem für alle Arbeitspunkte die Betafunktion relativ klein (2-5 m) und die Impulsdispersion stets Null ist. Um Verluste durch störende Resonanzen im Arbeitsdiagramm (Abb.8) kleinzuhalten, müssen an alle magnetischen Elemente in den Teleskopen hohe Toleranzanforderungen (Reproduzierbarkeit  $\Delta B/B < 10^{-4}$ ) gestellt werden.

## 2.3 Betriebsarten

### 2.3.1 Injektion und Einfang

Als Injektor-Maschine für den COSY-Ring wird das Isochronzyklotron JULIC bei einer festen Energie von 40 MeV/Nukleon (möglichst aber bei der Maximalenergie von 45 MeV/Nukleon) dienen. Es liefert bereits jetzt p-, d-,  $^3\text{He}$ - und Alpha-Strahlen. Die momentan im Aufbau befindliche externe ECR-Ionenquelle ISIS wird dieses Strahlangebot zu leichten Ionen hin erweitern. Mit einem Prototyp dieser Ionenquelle wurden bereits Erfahrungen gesammelt (Tab. 3).

---

Tabelle 3:

Mit einem Prototyp der Ionenquelle gemessene und unter Berücksichtigung einer Transmission von 2.5 % am Ausgang des Zyklotrons zu erwartende Ströme:

Ion:	$\text{H}_2^+$	$^{12}\text{C}^{4+}$	$^{14}\text{N}^{5+}$	$^{16}\text{O}^{6+}$	$^{20}\text{Ne}^{7+}$
Teilchen-					
strom:	7000	425	450	275	8 nA

---

Es werden sich auch  $\text{HD}^+$  und  $^3\text{He}^+$  in vergleichbarer Intensität mit der ISIS-Quelle erzeugen lassen. Das Zyklotron kann Ionensorten beschleunigen, deren Verhältnis Ladung/Masse ( $Q/A$ ) zwischen  $1/3 < Q/A < 1$  liegt.

Unabhängig von den COSY-Plänen ist seit langem ein Umbau der Strahlführung vom Zyklotron zum SM3 (Abb. 4) auf variable Dispersion und teleskopische

Abbildung vorgesehen<sup>Jü84</sup>). Die damit erzielbare bessere Strahlqualität und einfachere Bedienung ist auch für die COSY-Injektion notwendig. Der Entwurf für die Strahlführung zwischen SM3 und COSY-Ring sieht 36 zusätzliche Quadrupole und 6 Dipole vor (Abb. 4). Die Injektionsstrahlführung ist auf maximale Steifigkeit der jetzt im Zyklotron erzeugbaren Teilchenstrahlen ausgelegt (z.B. 180 MeV Alphas) und wird diesen Strahl (typisch  $\pm 0.7$  mm,  $\pm 10$  mrad und  $\Delta p/p = \pm 1.5 \cdot 10^{-3}$ ) an den Ring transportieren und am Ende des Ringmagneten MD23 an die COSY-Akzeptanz anpassen. Das gewünschte ionenoptische Verhalten der Injektionsstrahlführung wird durch eine Folge von teleskopischen Abbildungen erreicht. Zur Anpassung an die verschiedenen  $\beta$ -Funktionen des Ringes ist eine Gesamtvergrößerung um etwa einen Faktor 10 nötig. Als Beispiel sind in Abb. 9 die Einhüllenden für die Vergrößerung  $M_x = 4$  und  $M_z = 9$  dargestellt. Die im Doppelmonochromator am Zyklotron erzeugte Dispersion wird durch den achromatisch betriebenen 4 mal 36 Grad Umlenker in den Ring überführt.

Die Injektion des Zyklotronstrahls in den Ring erfolgt durch  $H_2^+$ -Stripping. Die Stripper-Folie<sup>Ree85I</sup>) ist in der Driftstrecke nach MD23 aufgespannt. Als Option ist auch Kicker-Injektion vorgesehen, um Teilchen im COSY zu beschleunigen, die nicht über Ladungswechsel injiziert werden können.

Um den Strahl während des Injektionsvorganges durch das Umlade-Target zu lenken bzw. in anderen Betriebsphasen vom Target herunterzunehmen, sind zwei Gruppen von Bumper-Magneten vorgesehen, die den Strahl von der Sollbahn weg und wieder auf sie zurück führen. Diese sind etwa um  $\pm \pi/2$  in der Betatronphase gegenüber dem Umladetarget versetzt.

Die Magnete der Injektionsstrahlführung unmittelbar am Ring werden ausgelegt für Teilchen mit  $\kappa = (\text{Bahnradius vor der Injektion})/(\text{Bahnradius im Ring}) = 1.5$  bis 2. Es können so z.B.  $H_2^+$  und  $^3\text{He}^+$  ( $\kappa = 2$ ) oder  $\text{HD}^+$  und  $^{12}\text{C}^{4+}$



( $\kappa = 1.5$ ) injiziert werden. Vorversuche mit 80 MeV  $H_2^+$  ergaben Ströme von 10  $\mu A$ , die an einer Kohlenstoffolie von 20  $\mu g/cm^2$  Dicke zu 90 % in  $H^+$  umgeladen wurden (Abb. 10).

Durch Streuung und Energieverlust laufen die Protonen aus dem Akzeptanzvolumen des Ringes heraus. Eine Simulationsrechnung für den Arbeitspunkt c) in Tab. 2 (Abb. 11) zeigt, welche Ströme im Ring zu erwarten sind. Die gepunktete Linie beschreibt die Zunahme der Intensität bei fortlaufendem Einschub über U Umläufe. Die durchgezogene Linie zeigt die Abnahme der im Ring vorhandenen Protonenintensität als Funktion der Anzahl der Umläufe im Ring beim ständigen Durchgang durch eine 20  $\mu g/cm^2$ -Kohlenstoff-Folie.

Bei einer  $H_2^+$ -Injektionsenergie von 40 MeV/Nukleon und einem Strom von 10  $\mu A$  können innerhalb von 1500 Umläufen mit Stripper im Idealfall ca.  $2 \cdot 10^{11}$  Teilchen in einen transversalen Phasenraum von  $E = 20 \pi \cdot mm \cdot mrad$  injiziert werden. Jedoch ist die Intensität durch kohärente und inkohärente Instabilitäten (z.B. Laslett-Tune Shift, Keil-SchnellHof<sup>84</sup>) limitiert.

Mit Hilfe einer ( $h=60$ )-Kavität mit fester Zyklotronfrequenz werden die injizierten Bunches in ein stehendes Bucket eingeschlossen. Dazu wird eine HF-Spannung von 200 kV vorgesehen. Damit wird einerseits der Energie-Verlust in der Injektions-Folie korrigiert, andererseits am Ende der Injektion durch adiabatisches Debunchen die Impuls-Breite des Strahles reduziert. Der Strahl ist danach ohne Zeitstruktur und hat eine Impulsbreite von etwa  $\Delta p/p = 0.4 \cdot 10^{-3}$ . Dies entspricht einem longitudinalen Phasenraum-Volumen von  $E_{\ell} = 2 \cdot \|\Delta T/f_0\| = 0.14$  eVs .

Mit einer HF-Amplitude bei  $h = 1$  wird der Strahl eingefangen und adiabatisch "gebuncht" (Abb. 12). Während des gesamten Injektionsvorganges ist die e-Kühlung eingeschaltet.

### 2.3.2 Beschleunigen

COSY kann Protonen von 40 MeV auf  $T_{\max} = 2.5$  GeV beschleunigen. Die Beschleunigungsfrequenz ( $h = 1$ ) wird dabei von 0.45 MHz auf 1.6 MHz verändert.

Die Beschleunigung wird begonnen, indem das stationäre Bucket ( $\phi_s = 0$ ) durch Ändern des Phasen-Winkels  $\phi_s$  in ein bewegtes Bucket überführt wird. Wie schnell  $\phi_s$  verstellt wird, richtet sich nach der Geschwindigkeit, mit der das magnetische Führungsfeld gefahren werden kann. Es werden einige 10 ms benötigt, um ausgehend vom statischen Feld diesen maximalen Wert zu erreichen. Wird der Phasen-Winkel vergrößert, so muß auch die HF-Amplitude erhöht werden, um das verfügbare Phasenraum-Volumen zu erhalten. Bei maximaler B-Feld-Änderung ( $dB/dt = 1$  T/s) gilt für den Energie-Zuwachs  $\Delta T$  der Protonen pro Umlauf

$$\Delta T_{\max} = e \cdot U_0 \cdot \sin \phi_s = 1.28 \text{ keV} .$$

Mit einer HF-Amplitude von 5 kV wird der zugehörige Phasen-Winkel

$$\phi_s = 15^\circ .$$

Bei höheren Energien kann das gleiche Phasenraum-Volumen mit größerem Phasenwinkel oder kleinerer Spannung beschleunigt werden. Die Geschwindigkeit, mit der die HF-Werte gestellt werden, ist in diesem Beispiel hinreichend klein, um eine nicht-adiabatische Phasenraum-Vergrößerung zu vermeiden. (Dem hier gerechneten Beispiel liegt ein willkürlich gewähltes  $\gamma_{tr} = 2.39$  zugrunde.)

Die grundlegenden Daten für die Synchrotronbeschleunigung in COSY sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die Frequenzvariation um einen Faktor 4 wird durch eine ferrit-abgestimmte Kavität erreicht (Re84).

Tabelle 4: Synchrotron-Beschleunigung und Umlaufzeiten in COSY

T	40	200	1500	2500	MeV
B·ρ	0.92	2.15	7.51	11.03	T·m
Beschleunigungszeit für Feldrampe 1 T/s	-	0.19	1.0	1.6	s
v/c	0.28	0.57	0.92	0.96	
Umlaufzeit	2.16	1.08	0.66	0.64	μs
Frequenz	0.46	0.93	1.52	1.56	MHz

### 2.3.3 Phasenraumkühlung

Für Protonen gibt es zur Zeit zwei Kühlverfahren: Kühlen mit Elektronen<sup>Sk81)</sup> und stochastisches Kühlen<sup>Mo80)</sup>. Beide sind für den Einsatz in COSY vorgesehen, da sie sich gegenseitig ergänzen.

Elektronenkühlung wird bei Protonen-Energien bis zu 200 MeV eingesetzt (Elektronen-Energie  $T_e < 110$  keV) und stochastische Kühlung vor allem bei höheren Energien. Basierend auf Erfahrungen mit System-Bandbreiten von 200 - 700 MHz<sup>Mo83)</sup> am LEAR wird bei COSY ein System mit Bandbreiten von 2 GHz eingesetzt<sup>Wi83, Te84, Mo80)</sup>.

Sowohl die Signal-Aufnahme als auch das Kicken erfolgen mit Vielfach-Anordnungen von Elektroden (Richtkoppler, Schlitzkoppler) in Tanks auf festen Positionen im COSY. COSY hat die hierfür notwendige Flexibilität der Ionen-Optik und ermöglicht trotz fester Positionen der Tanks gute Mixing-Bedingungen und Kühlzeiten.

#### 2.3.4 Betrieb mit internem Target

Beim Rezirkulieren werden die Teilchen immer wieder durch das Target geführt, bis sie durch Reaktionen oder wegen zu großer Energie- und Winkelstreuung verlorengehen. Die Strahl-Ausdehnung sowie die Impuls-Unschärfe werden mit Blenden, die die Phasenraumakzeptanz des Rings definieren, auf Kosten der Intensität begrenzt. Für den transversalen Phasenraum befinden sich Blenden an einem Ort, an dem die  $\beta_x$ - und  $\beta_z$ -Werte hoch sind, während die Impulsdefinition durch eine Strahl-Blende an einem Ort erzielt wird, an dem die Dispersion hoch und der  $\beta_x$ -Wert niedrig ist.

Verschiedene Rezirkulier-Betriebsarten sind machbar, die sich durch die verwendeten Targetdicken unterscheiden:

- \* dicke Targets mit kurzen Standzeiten und maximaler Repetitionsrate,
- \* dünne Targets mit Standzeiten, die so groß sind, daß Phasenraumkühlung wirkungsvoll eingesetzt werden kann.

Beispiele für beide Fälle werden in<sup>Ma85)</sup> gezeigt.

#### 2.3.5 Betrieb mit externem Target

Bei jeder Energie kann der Strahl aus dem Ring extrahiert werden. Von Interesse ist die langsame Extraktion, die durch Diffusion gespeist wird<sup>Ha81)</sup>. Sie liefert einen qualitativ hochwertigen Strahl mit kleiner transversaler Emittanz, hoher Impuls-Auflösung, glatter Zeitstruktur und konstanter Energie.

Eine externe Strahlführung, die COSY-Strahlen der Maximalenergie transportieren kann, wird zur bestehenden Zyklotron-Experimentierhalle gebaut (Abb. 4). Ein Schaltmagnet erlaubt es, drei Targetplätze wahlweise zu bedienen, darunter auch das Spektrometer BIG KARL.

Es wird auch eine schnelle Extraktion installiert. Dabei wird in der ersten Harmonischen beschleunigt und in der Strahlücke ein Kicker mit kurzer Anstiegszeit gefeuert, der den Strahl vollständig während eines Umlaufs auslenkt.



### 3. KOMPONENTEN DER ANLAGE

#### 3.1 Magnete

##### 3.1.1 Dipol-Magnete

Der Protonenstrahl wird durch 24 Dipol-Magnete auf einer geschlossenen Bahn geführt. Jeder Magnet lenkt den Strahl um  $15^\circ$  mit einem Ablenk-Radius von 7.0 m ab. Für Protonen von 2.5 GeV (3.3 GeV/c) ergibt sich somit ein Feld von 1.58 T. Die Magnete und Spulen werden aus Kostengründen rechteckig ausgeführt (Box-Magnete). Die Joche sind C-förmig, damit die Vakuum-Kammer für den Einbau von Strahldiagnose-Elementen seitlich zugänglich ist. Der Polschuhabstand beträgt 90 mm. Die Magnete sind 1761 mm lang, und die Joche sind aus 1 mm dicken Eisenblechen aufgebaut (COSY-Note 56).

Die Gap-Höhe von 90 mm ergibt sich aus der notwendigen Akzeptanz des COSY-Ringes (Tab. 2), durch Vakuum-Kammer, Ausheiz-, Isolier- und Kühlvorrichtungen (Abb. 13). Bei 300°C Heiztemperatur wird die Oberflächen-Temperatur der Pole durch Isolierung und Kühlung auf 60°C begrenzt, um nichtreproduzierbare Änderungen der Koerzitiv-Feldstärke zu vermeiden<sup>Boz64</sup>). Die Magnete sind so dimensioniert, daß der maximale Fluß im Eisen 1.9 T nicht übersteigt und für die Bleche die Standard-Breite der Walz-Straße - bis auf schmale Streifen zur Halterung - beim Stanzen genutzt wird.

Zur Optimierung der Feldform sind die Pole mit einem angenäherten Rogowski-Profil versehen. Um den vollen Polschuhabstand für den Einbau der Vakuum-Kammer zur Verfügung zu haben, wird auf Shims verzichtet. Zur Optimierung des Streufeldes ist eine Bearbeitung der Polschuh-Endstücke möglich. Mit dem vorliegenden Entwurf wird eine integrale Feldhomogenität von  $\Delta B/B = 2 \cdot 10^{-4}$  erreicht.

Bei der Auslegung der Magnete wurde vom Entwurf der Dipole<sup>Kr85)</sup> des Heidelberger Testspeicherringes ausgegangen. Die Rechnungen wurden mit den Programmen POISSON und PANDIRA<sup>Ho82)</sup> durchgeführt.

Die mechanischen Daten der Dipol-Magnete enthält Tab. 5. Die Abb. 14 und 15 zeigen die Magnet-Geometrie.

Tabelle 5: Mechanische Daten der Dipol-Magnete

Ablenk-Winkel:	15	Grad
Ablenk-Radius:	7.0	m
Effektive Länge:	1832	mm
Kantenwinkel an Ein- und Austritt:	7.5	Grad
Eisenlänge:	1761	mm
Bleckdicke:	1	mm
Pol-Breite:	530	mm
Polschuhabstand:	90	mm
Feld:	0.1 - 1.58 T	
Gewicht:	27	t

Erregt wird jeder Magnet von 4 Spulen mit zusammen 60 Windungen. Jeder Pol trägt 2 Spulen mit 18 bzw. 12 Windungen. Diese Teilung der Spulen erlaubt ihren Einbau zwischen den Polschuhen des ungeteilten Eisenkörpers (Abb. 14). Aus Festigkeits- und Kosten-Gründen wurden rechteckige Flach-Spulen gewählt, bestehend aus 3 bzw. 2 Lagen zu je 6 Windungen. Der Kupfer-Leiter wird lagenweise direkt mit vollentsalztem Wasser gekühlt.

Die fertig gewickelten und vergossenen Spulen haben Querschnitte von etwa 155 mm x 80 mm bzw. 155 mm x 55 mm. Die Daten der Spulen sind in Tab. 6 aufgelistet.

Tabelle 6: Daten der Dipol-Spulen

---

Anzahl pro Magnet:	4	
Windungszahl je Pol:	18 + 12	
Wickelart:	3 x 6	bzw. 2 x 6 Windungen
Kupfer-Hohlprofil:	24 x 24	mm <sup>2</sup>
Kühlbohrung:	6.0	mm Durchmesser
Maximalstrom:	2340 A	(140000 A-Windungen)
Maximale Stromdichte:	4.26	A/mm <sup>2</sup>
Widerstand pro Magnet:	10.5	mOhm
Spannung pro Magnet:	24.5	V
Leistungs-Aufnahme pro Magnet:	57.1	kW
Induktivität pro Magnet:	53 - 106	mH
Spulengewicht pro Magnet:	1.61	t

---

Die Injektions-Strahlführung vom Schaltmagneten SM3 zum COSY-Ring enthält 6 Dipolmagnete vom H-Typ mit einem Polschuh-Abstand von 70 mm. Zwei dieser Magnete mit einer Länge von 0.37 m lenken den Strahl um je 14 Grad, die anderen vier mit einer Länge von 0.93 m um je 35.6 Grad ab. Bei beiden Magnettypen beträgt der Ablenkradius 1.5 m. Für z.B. 90 MeV Deuteronen ergibt sich ein Feld von 1.3 T.

Die Extraktions-Strahlführung ist zunächst mit sechs 150° ablenkenden Dipolmagneten des Ringtyps gerechnet. Mit diesem Magnettyp kann man in der für die Auslegung kritischen vertikalen Ebene 20 π mm mrad transportieren. Eine solche Strahlausdehnung erlaubt, beim Arbeitspunkt c) in Tabelle 2 einen ungekühlten Strahl noch bei 300 MeV ohne Intensitätsverlust zum Targetplatz BIG KARL zu transportieren.

Die Verwendung von Magneten des Ringtyps hat zwar zahlreiche Vorteile bei der Herstellung und im Betrieb, aber ein gekühlter extrahierter Strahl

paßt auch durch wesentlich kleinere Polschuhabstände. Ob später schlankere Magnete zum Einsatz kommen, hat keinen Einfluß auf die vorgestellte Strahl-optik.

Damit die Dispersion des extrahierten Strahles an den Arbeitsbereich des "BIG KARL" angepaßt werden kann, wurde ein Abbildungssystem ohne Knoten in der Horizontalen und mit einem Knoten in der Vertikalen gewählt. Der große  $\beta_z$ -Wert am Extraktionsort und der kleine vertikale Akzeptanzbereich des BIG KARL macht eine Verkleinerung um etwa eine Größenordnung erforderlich.

### 3.1.2 Quadrupole

Zur Fokussierung des Strahles in den Biege-Sektionen in COSY dienen je 4 Quadrupole (Abb. 16) pro Strukturperiode, d.h. insgesamt 24 Stück. Bei einer Apertur von 160 mm beträgt ihr Gradient  $\sim 10$  T/m für 2.5 GeV Protonen. Die Quadrupole haben eine Eisenlänge von 250 mm und sind, wie die Joche der Dipol-Magnete, lamelliert aus 1 mm dicken Eisenblechen. Das Polprofil ist hyperbelförmig. Die Kühlung der Spulen erfolgt mit vollentsalztem Wasser.

Die Quadrupole der Teleskop-Sektionen unterscheiden sich von denen der Biege-Sektionen nur in ihrer größeren Länge. Die Daten beider Quadrupoltypen enthält Tab. 7.

Im Injektions-Strahlpfad sind 36 Quadrupole mit einer Länge von je 0.35 m, einer Apertur von 70 mm und mit einer Polschuhfeldstärke von 0.5 T vorgesehen.

Die Strahlführung zum Targetplatz BIG KARL ist mit 12 Quadrupolen ausgerüstet und zu einem weiteren Strahlplatz mit vier Quadrupolen, die alle vom gleichen Typ sind wie in den Teleskopabschnitten des Ringes.

Tabelle 7: Daten der Strukturperioden-Quadrupole MQUi und der Teleskop-Quadrupole MQTi und MQCi

	MQUi	MQTi / MQCi
Effektive Länge:	250	500 mm
Apertur-Durchmesser:	160	160 mm
Eisenlänge:	250	500 mm
Maximaler Gradient:	10	10 T/m
Umschlingungs-Radius:	390	390 mm
Pol-Profil:	Hyperbel	Hyperbel
Pol-Breite:	100	100 mm
Spulen pro Pol:	1	1
Windungen pro Spule:	36	36
Gesamte Windungs-Länge pro M.:	204.5	276.5 m
Kupfer-Hohlprofil:	14.5 x 14.5	14.5 x 14.5 mm <sup>2</sup>
Kühlbohrung:	4.0	4.0 mm Durchmesser
Maximal-Strom:	1000	1000 A
Maximale Strom-Dichte:	5.06	5.06 A/mm <sup>2</sup>
Widerstand pro Magnet:	20.0	27.0 mOhm
Spannung pro Magnet:	20.0	27.0 V
Leistungs-Aufnahme pro Magnet:	20.0	27.0 kW
Induktivität pro Magnet:	36.4-72.8	72.8-145.6 mH
Gewicht (Eisen):	0.71	1.45 t
Gewicht (Kupfer):	0.36	0.49 t

### 3.1.3 Korrektur-Dipole

Für transversale Bahn-Korrekturen sind im COSY-Ring insgesamt 16 Korrektur-Dipole vorgesehen. Hiervon werden 2 pro Strukturperiode in den Biege-Sektionen (MDSA<sub>i</sub>) und jeweils 2 in den Teleskop-Sektionen (MDSB<sub>i</sub>) eingebaut. Um möglichst wenig Länge des COSY-Umfanges zu belegen, wurden die Magnete für Korrekturen in x- und z-Richtung zusammengefaßt. Abb. 17 zeigt einen Schnitt durch einen solchen Magneten. In Tab. 8 sind die wesentlichen Daten zusammengefaßt. Alle Magnete besitzen Korrektur-Spulen, mit denen die Summe aller Harmonischen bezogen auf das Dipolmoment kleiner 1/1000 gehalten werden kann. Aufgrund der niedrigen Flußdichte im Eisen skalieren die Korrektur-Ströme mit denen der Haupt-Spulen, so daß für jede Ablenk-Richtung nur ein Netzgerät benötigt wird.

Im Injektionspfad sind 8 im Extraktionspfad 4 Korrektur-Magnete vom Ring-Typ vorgesehen.

Tabelle 8: Daten der Korrektur-Dipole MDSA<sub>i</sub> und MDSB<sub>i</sub>

	MDSA <sub>i</sub>	MDSB <sub>i</sub>
Effektive Länge:	100	100 mm
Gesamtlänge:	140	140 mm
Öffnung horizontal:	160	180 mm
Öffnung vertikal:	160	90 mm
B <sub>max</sub> (horiz./vert.):	±20	±20 mT

### 3.1.4 Sextupole

Zur Korrektur der Chromatizität sind 28 Sextupole vorgesehen. Es werden jeweils 4 pro Strukturperiode eingebaut. Für Protonen von 2.5 GeV beträgt ihr Gradient  $3.2 \text{ T/m}^2$  bei einer Apertur von 160 mm. Hierfür ist eine Erregung der Pole mit etwa 900 Amperewindungen erforderlich. Die Länge der Sextupole beträgt 250 mm. Sie werden wie die Dipole und Quadrupole aus 1 mm dicken Eisenlamellen aufgebaut.

In der Injektions-Strahlführung sind je nach Bedarf vier Sextupole vorgesehen.

### 3.1.5 Kicker und Septa

Die Injektion in den Ring erfolgt über einen  $20^\circ$ -Septum-Magneten.

Zur langsamen Extraktion wird der Strahl über eine ganzzahlige Drittelresonanz aus dem Ring herausgeführt. Die Resonanz wird mit Sextupolen angeregt, während der Strahl langsam in das Stoppband bewegt wird durch geringfügige Änderung der Energie. Am Ort des elektrostatischen Septums werden die zu extrahierenden Teilchen abgeschält. Die zur Extraktion benutzten 4 Sextupole befinden sich in den geraden Sektionen, weil hier die Dispersion Null ist und damit die Chromatizität ungeändert bleibt. Die Betafunktion an dieser Stelle ist maximal in x- und minimal in z-Richtung, so daß nur relativ kleine Sextupolstärken benötigt werden und die Störung in z-Richtung klein ist. Der Abstand der Sextupole in den geraden Strecken entspricht einem Phasenvorschub von  $\pi$ ; damit werden die vertikalen Störungen kompensiert.

Das elektrostatische Septum befindet sich in  $120^\circ$  Phasenabstand am Übergang von Kühlerteleskop zu den Ablenkperioden. Es lenkt die an dieser Stelle 28 mm von der Strahlachse entfernten Teilchen (Abb. 18) um 3 mrad ab ( $7 \text{ MV/m}$ ,  $l_{\text{eff}} \sim 1 \text{ m}$ , 20 mm Öffnung). Damit sind die abgeschälten Teilchen am Ort des magnetischen Septums genügend separiert (28 mm Schattenbreite), um sie an dieser Stelle mit zwei konventionellen Stromblech-Septummagneten ( $B \sim 1 \text{ T}$ ,  $l_{\text{eff}} \sim 1 \text{ m}$ ) endgültig auslenken zu können.

Zur schnellen Extraktion während eines Umlaufs dient eine Kicker-Septum-Kombination (Abb. 2). Die Randbedingungen für die Konstruktion sind so gewählt, daß eine Extraktion zu jedem Zeitpunkt - auch während der Synchrotronphase - möglich ist<sup>Hac85</sup>).

Das Septum ist als nicht-gekrümmtes Eisenseptum (Lambertson-Typ) ausgeführt. Durch diese Konstruktion wird eine geringe Störung des umlaufenden Strahls erreicht. Aufgrund der relativ niedrigen Impedanz und einer kleinen Eigenanstiegszeit kann der Magnet mit dem Beschleunigungsvorgang ohne Spannungsüberhöhung hochgefahren werden. Die Daten des Septums sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Tabelle 9: Daten des magnetischen Septums (Lambertson-Typ)

Feldstärke	B	1.26	T
Polschuhabstand	2h	20	cm
Strom	I	5750	A
Spule		36	Windungen
Spulenwiderstand	R	1.84	mOhm
Betriebsspannung	U <sub>b</sub>	10.6	V
aufgenommene Leistung	P	60.9	kW
Stromdichte in der Spule	S	3.84	A/mm <sup>2</sup>
Induktivität	L	8.5	μH
Anstiegszeit	τ	4.7	ms
Wicklungs-Länge		162	m
mittlere Windungslänge		4.5	m
Länge	l	1.5	m
Ablenkwinkel		10	Grad
Gewicht Eisen und Cu		40	t



Die Hauptkomponente der schnellen Extraktion bildet der schnelle Kicker. Dieser ist als magnetisches Ablenksystem ausgeführt (Abb. 19). Durch Aufteilung des Gesamtsystems in 6 Teilsysteme werden die resultierende Induktivität klein gehalten und damit kurze Anstiegs- und Füllzeiten erreicht. Jedes Teilsystem hat seine eigene Stromversorgung. Zur Impedanzanpassung ist jedes Segment des Kickers in einzelne kapazitiv belastete Zellen unterteilt. Angestrebt ist eine 12.5 Ohm-Struktur mit einer maximalen Ladespannung von 80 kV. Die elektrischen Daten des Kickers sind in Tab. 10 wiedergegeben.

Tabelle 10: Elektrische Daten des Kickers

Strom	I	2870	A
Ladespannung	$U_L$	72	kV
gespeicherte Energie	W	9.16	Ws
Induktivität	L	1.6	$\mu H$
Wellenwiderstand	$Z_0$	12.5	Ohm
Induktivität einer Zelle	$L_z$	240	nH
Kapazität einer Zelle	$C_z$	1584	pF
maximale Feldstärke	$E_{max}$	4.5	MV/m
Füllzeit		170	ns
min. Anstiegszeit der Magnetstruktur	$t_m$	62	ns
Anstiegszeit mit Thyatron			
CX 1171	t	230	ns
CX 1168	t	410	ns

### 3.1.6 Justiertoleranzen

Tabelle 11 zeigt die vorgesehenen Justiertoleranzen. Die Rechnungen werden in COSY-Note 53 beschrieben. Das Vermessungs- und Justierkonzept ist in COSY-Note 57 dargestellt.

Tabelle 11: Justiertoleranzen

Abweichung der Komponenten:	Höhe	Azimut	Radial
Dipole	$\pm 0.20$	$\pm 0.20$	$\pm 1.00$ mm
Quadrupole	$\pm 0.20$	$\pm 0.50$	$\pm 0.20$ mm
Sextupole	$\pm 0.50$	$\pm 0.50$	$\pm 0.20$ mm
Steerer	$\pm 0.20$	$\pm 0.50$	$\pm 0.80$ mm
Diagnose	$\pm 0.20$	$\pm 0.50$	$\pm 0.80$ mm

### 3.2 Netzgeräte

#### 3.2.1 Anforderungen an die Netzgeräte

Die Magnete sind entsprechend ihrer Gruppenzugehörigkeit in Reihe geschaltet (siehe Abschnitt 3.2.2). Die Gruppenversorgung erfolgt dann jeweils von einem Netzgerät aus.

Wegen der geforderten hohen Strom-Genauigkeit im Plateau, gleichbleibend für einen großen Strom-Stellbereich (Abb. 20), aber auch um die Netz-Rückwirkungen der Stromrichter zu vermindern, werden die Netzgeräte 12-pulsig geschaltet. Sie bestehen jeweils aus zwei um  $30^\circ$  elektrisch versetzten, netzkommutierten 3-Phasen-Thyristor-Brücken. Beide Brücken sind über einzelne Drosseln parallel geschaltet. Mit diesen Einzel-Drosseln wird außerdem der Spitzen-Kurzschlußstrom reduziert. Zur Herabsetzung der Blindleistung beim Speicherbetrieb sind Mittelpunkt-Schaltungen mit gesteuerten Null-Ventilen vorgesehen, angeschlossen zwischen dem Gleichspannungs-Ausgang der Thyristor-Brücken und dem Sternpunkt des Stromrichter-Transformators.

Alle Netzgeräte sind wassergekühlt. Sie werden einschließlich der Stromrichter-Transformatoren im Obergeschoß der Verbindung zwischen Zyklotron-Experimentierhalle und COSY-Halle aufgestellt. Die Stromrichter-Transformatoren werden aus einer neu zu erstellenden 10 kV-Schaltanlage versorgt.

### 3.2.2 Gruppierungen und Leistungsbedarf

Die 24 Dipole MDi werden elektrisch in Reihe geschaltet. Durch die hohe Gesamt-Induktivität wäre, um die vorgegebene Strom-Anstiegszeit zu erreichen, eine für ein einzelnes Netzgerät relativ hohe maximale Versorgungs-Gleichspannung von annähernd 4500 V erforderlich. Durch eine Aufteilung dieser Spannung auf 4 Thyristor-Brücken, wie in Abb. 21 dargestellt, kann für jede einzelne Brücke ein niedrigeres Spannungs-Niveau und somit eine kostengünstigere Ausführung erreicht werden. Die Strom- und Spannungs-Regelung aller 4 Thyristor-Brücken erfolgt gemeinsam. Jeweils 2 der Thyristor-Brücken werden durch um 30° elektrisch gegeneinander versetzte Drehstrom-Systeme gespeist, um die erforderliche 12-pulsige Schaltung zu erreichen.

Um den spezifizierten Wert der Stromwelligkeit von  $10^{-4}$  zu erreichen, werden aktive Filter in den Netzgeräten verwendet.

Der Leistungsbedarf zur Versorgung der Dipol-Magnete beträgt:

- \* Gesamte maximale lastseitige Spitzenleistung  
beim Aufmagnetisieren der Dipole: 10 268 kVA
- \* Gesamte maximale lastseitige Wirkleistung  
bei Speicherbetrieb der Dipole: 1 380 kW

Die 24 Quadrupole MQUi sind in 3 Gruppen von 12, 8 und 4 Magneten aufgeteilt, jede gespeist von einem Netzgerät wie in Abschnitt 3.2.1 beschrieben und in Abb. 22 dargestellt.

Der Leistungsbedarf zur Versorgung der Quadrupol-Magnete MQUi beträgt:

- \* Gesamte maximale lastseitige Spitzenleistung  
beim Aufmagnetisieren der MQUi: 1 488 kVA
- \* Gesamte maximale lastseitige Wirkleistung  
bei Speicherbetrieb der MQUi: 346 kW

Die je 16 Quadrupole MQTi und MQCi sind identisch und in 4 Gruppen zu je 4 Magneten aufgeteilt. Jede dieser Gruppen wird von einem Netzgerät wie in Abschnitt 3.2.1 beschrieben und in Abb. 22 dargestellt gespeist.

Der Leistungsbedarf zur Versorgung der Quadrupol-Magnete MQTi und MQCi beträgt:

- \* Gesamte maximale lastseitige Spitzenleistung  
beim Aufmagnetisieren der MQTi und MQCi 3 712 kVA
- \* Gesamte maximale lastseitige Wirkleistung  
bei Speicherbetrieb der MQTi und MQCi 680 kW

### 3.3 HF-System

#### 3.3.1 Bunchen und Beschleunigen

Die Hauptaufgabe des HF-Systems ist es, den injizierten Strahl auf die gewünschte Energie zu beschleunigen. Um den longitudinalen Phasenraum der injizierten Zyklotron-Bunche zu erhalten, wird im COSY-Ring eine Kavität mit der Zyklotron-Frequenz (27.6 MHz) entsprechend  $h=60$  eingesetzt. Die Bunche werden dann in stehende Buckets injiziert. Der geringe, mittlere Energie-Verlust der Teilchen beim Passieren der Injektions-Folie wird mit Hilfe dieser Kavität ebenfalls korrigiert. Der longitudinale Bunching-Faktor beträgt zunächst 0.2 und weniger. Durch Drehen der Phasenellipse am Ende der Injektion wird die Impulsbreite des Strahles durch Debunchen reduziert. Bedingt durch die

Phasenellipse der injizierten Bunche wird eine HF-Spannung von ca. 200 kV benötigt.

Nach Abschluß dieses Injektionsprozesses wird der Strahl auf der ersten Harmonischen der Umlauffrequenz mit der ( $h=1$ )-Kavität adiabatisch gebuncht und anschließend beschleunigt. Bei vorgegebener Impulsbreite des einzufangenden Strahls ist die dazu benötigte HF-Spannung bei  $h=1$  am geringsten und die Frequenzvariation technisch am einfachsten.

Im ungünstigsten Fall ohne  $h=60$  "bunch into bucket" Einfang hat der Protonenstrahl, der durch Umladen in der Stripper-Folie injiziert wurde, eine Impulsbreite von  $\Delta p/p = 2 \cdot 10^{-3}$ . Dies entspricht einer longitudinalen Phasenraumfläche von 0.71 eVs, die vom  $h=1$  HF-System akzeptiert werden kann.

Um diesen Strahl zu bunchen, wird die HF-Amplitude zunächst auf 100 V mit einem Phasenwinkel von  $\phi_s = 0$  gesetzt. Das so definierte Bucket befindet sich innerhalb des zirkulierenden Strahls. Durch langsames Erhöhen der Spannung wird der Strahl vollständig gebuncht. Die dazu benötigte Spannung beträgt 1.73 kV. Bei diesem Prozeß muß die Adiabasie  $\Delta A_\ell / A_\ell = \alpha_c \cdot \Delta t / T_s$  erfüllt sein. Dabei gibt  $\Delta A_\ell / A_\ell$  die Änderung der Bucketfläche an. Die Synchrotronfrequenz für kleine Amplituden zu Ende des Einfangs beträgt  $1/T_s = 580$  Hz und der "Adiabasie-Parameter" wird zu  $\alpha_c = 0.25$  gewählt. Die benötigte Zeit für den Einfang dauert  $\Delta t = 5$  ms. Aus der adiabatischen Bedingung folgt, daß die Spannung  $U_0$  als Funktion der Zeit gegeben ist durch  $U_0 = U_{00} / (1 - \alpha_c \cdot t / T_s)^2$  mit  $U_{00} = 100$  V und  $0 < t < \Delta t$ . Während der Beschleunigung werden die Teilchen entsprechend der Zunahme des magnetischen Feldes beschleunigt, wie es durch die Beziehung  $U_0 \cdot \sin \phi_s = C \cdot p \cdot dB/dt$  gegeben ist. Für die Magnetfeld-Änderung  $dB/dt$  ist ein maximaler Wert von 1 T/s durch die Stromversorgung vorgegeben und damit eine beschleunigende Spannung von 1.28 kV je Umlauf. Bei einer maximalen Spannungsamplitude von  $U_0 = 5$  kV kann mit einem Phasenwinkel von  $15^\circ$  be-

beschleunigt werden. Bei der Injektionsenergie beträgt für solch ein Bucket das Phasenraumvolumen 0.94 eVs, was dem Phasenraumvolumen des gebunchten Protonenstrahls einschließlich einer Toleranz von 30 % entspricht. Während der Anfahrphase der Netzgeräte, in der die Änderung der Feldstärke von  $dB/dt = 0$  auf  $dB/dt = 1 \text{ T/s}$  gefahren wird, müssen entsprechend auch die HF-Parameter verstellt werden. Auch diese Änderung läuft adiabatisch innerhalb der Anfahrphase von einigen 10 ms ab.

In dem in Abb. 7 gezeichneten Beispiel wurde  $\gamma_{tr} = 2.4$  angenommen (Tabelle 2). In dieser Abschätzung wurde die Impulsbreite zu  $2.1 \cdot 10^{-3}$  und das Verhältnis von Bunch- zu Bucket-Phasenraumvolumen zu 70 % gesetzt. Diese Parameter sind so gewählt, daß der Strahl in einer Sekunde auf 1.5 GeV und maximal weiter bis 2.5 GeV beschleunigt wird. Die HF-Anlage ist so ausgelegt, daß sie bei  $U_0 = 5 \text{ kV}$  mit einem Tastverhältnis von 60 % betrieben werden kann. Weiterhin ist es möglich, einen Strahl mit einer Impulsbreite von  $3 \cdot 10^{-3}$ , gemessen nach der Injektion, zu beschleunigen. Dazu wird die HF-Amplitude zu Anfang auf 6.7 kV gesetzt und die damit erzeugte erhöhte thermische Belastung der Ferrite durch eine HF-Amplitude weit unterhalb von 3.5 kV gegen Ende der Beschleunigung ausgeglichen. Dabei wird die Bucketfläche nicht verkleinert.

### 3.3.2 Auslegung der HF-Anlage

In der Tabelle 12 sind die Anforderungen an das HF-System zusammengestellt.

Tabelle 12: HF-Betriebswerte für  $h=1$

Maschinen-Umfang	$C$	183.5	m
Protonen-Impuls	$P_p$	0.28 .... 3.3	GeV/c
rel. Prot.-Geschwindigkeit	$\beta_p = v_p/c$	0.28 .... 0.96	
Umlauf-Frequenz	$f_0$	0.460.... 1.573	MHz
Harmoniezahl	$h = f_c / f_0$	1	
Protonen-Anzahl je Füllung	$n_p$	$2 \cdot 10^{11}$	
mittlerer Umlauf-Strom	$I_p$	15 .... 50	mA
Energiezunahme/Umlauf	$\Delta T_p$	1.28	keV
synchrone Phase, Beschleunigg.	$\phi_s$	0 .... $+15^\circ$	
bei HF-Spannung je Umlauf	$U_0$	5	kV

Die Frequenzvariation wird mit einem ferrit-abgestimmten Schwingkreis (Abb. 23, 24) geleistet. Vergleichbare HF-Systeme werden bei LEAR, CELSIUS, ACOL, Saturne, SIS und SNS eingesetzt, ähnliche auch im CERN-PS, CERN-PSB und AA (Ref. Su85, Jam86, Wi83, GSI79, GSI81, Kas80, Kie84, Gas86, Gar85, Boa82).

Der Schwingkreis besteht aus dem Beschleunigungs-Spalt mit dem parallel-geschalteten Zusatzkondensator mit  $C_s = 3.2 \text{ nF}$ , der die Ausgangs-Kapazität der Verstärkerendstufe mitenthält, und einem kurzgeschlossenen coaxialen Leitungsstück als abstimmbare Induktivität. Dieses Leitungsstück enthält in der ersten Ausbaustufe 28 Ferrit-Scheiben, deren Permeabilität durch eine Gleichstrom-Vormagnetisierung so verändert werden kann, daß man die geforderten Resonanzfrequenzen einstellen kann.

Mit 28 Ferrit-Scheiben und einer Spannung  $U_C = 5$  kV am Beschleunigungs-Spalt bleibt die zeitlich gemittelte Verlustleistungsdichte  $p_{Fe}$  im Ferrit innerhalb des gesamten Frequenz-Hubes im erlaubten Bereich. Die höchsten Werte für  $p_{Fe}$  treten an den Frequenzgrenzen auf. Abb. 25 zeigt die Abhängigkeit der höchsten auftretenden Leistungsdichte  $p_{Fe}$  und der höchsten auftretenden Ferrit-Verlust-Leistung  $P_C$  von der Scheiben-Anzahl  $n_{Fe}$ . Der Wert  $n_{Fe} = 28$  stellt einen Kompromiß zwischen den Kosten für Ferrit-Scheiben und HF-Leistungsverstärker dar. Tab. 13 gibt einen Überblick über die Auslegung des HF-Systems. Dauerbetrieb ( $V_t = 100$  %) ist mit  $U_C = 4$  kV möglich.

Tabelle 13: Auslegungswerte für eine HF-Amplitude von 5 kV

<hr/>				
Spannung am Beschleunigungs-Spalt:	$U_C$	5	kV	
bei Tastverhältnis:	$V_t$	60	%	
und Einschaltdauer:	$t_{\text{ein}}$	1	s	
Mittl. Verlust-Leistung	$P_C$	16	kW	
Zusatz-Kapazität	$C_S$	3.2	nF	
Max. Induktion*Frequenz	$B_C \cdot f_C$	14	kHzT	
Ferrit-Länge	$l_{cFe}$	700	mm	
Permeabilität	$\mu_\Delta$	500 ...	43	
Vormagnetisierungs-Strom	$I_M$	20 ...	600	A
Mittl. Verlust-Leistungs-Dichte	$p_{Fe}$	0.11	-	0.22 kW/m <sup>3</sup>
Mittl. HF-Verlust-Leistung				
je Ring	$P_{Fe}$	550	W	
<hr/>				



Für die zur Puls-Kompression nötige Spannung  $U_c$  bis 10 kV von etwa 1 ms Dauer kann der Beschleunigungskreis durch zusätzliche Ferrit-Ringe nachbestückt werden.

Die HF-Verstärker-Anlage ist auf eine Leistung von  $P_G = 20$  kW bei einem Tastverhältnis  $V_t = 100$  % ausgelegt. Hierin ist sowohl die Strahl-Leistungszunahme als auch die Verlustleistung des Beschleunigungskreises berücksichtigt. Eine Anodenspannungs-Versorgung bis 14 kV ermöglicht, daß sowohl  $U_0 = 5$  kV bei  $V_t = 60$  % als auch  $U_0 = 10$  kV bei  $V_t = 1$  % erreichbar sind. Die Anforderungen an den Verstärker für die Beschleunigung entsprechen somit denjenigen, die beim LEAR, CERN, eingesetzt werden. Den Rechnungen liegen die Abmessungen der LEAR- bzw. ACOL-Induktivität zugrunde<sup>Su85</sup>). Frequenz- und Amplituden-Abhängigkeit der komplexen Permeabilität sind aus Messungen der GSI, des Laboratoire National Saturne, des RAL für SNS und Angaben von VALVO skaliert<sup>Kas81,Nah76,Ben79,Val83</sup>).

Das Bereitstellen der gesamten Umlauf-Spannung  $U_0$  in nur einer Beschleunigungsstruktur hat Vorteile bezüglich Platzbedarf, Fertigungs-Aufwand und steuer- und regeltechnischem Aufwand. Außerdem ist die longitudinale und transversale Gesamt-Impedanz im Ring bei höheren Frequenzen geringer. Die Beschleunigungs-Struktur wird in der Kühler-Teleskop-Sektion an der dispersionsfreien Stelle zwischen den Quadrupol-Magneten MQC 4 und 5 angeordnet.

Die Regelung der Beschleunigungs-Frequenz, -Spannung und -Phase geschieht entsprechend den diagnostischen Meßwerten der Umlaufbahn und der Strahlphase über analoge Regelkreise, deren Vorgabewerte von der leittechnischen Anlage aus gesetzt werden können.

Die bei der Injektion nötige HF-Anlage arbeitet bei  $h = 60 = f_i/f_0$  mit der JULIC-Extraktions-Frequenz  $f_i = 27.6$  MHz. Die Notwendigkeit, nur über einen kleinen Frequenzbereich abzustimmen, erlaubt den Einsatz eines Resona-

tors mit hoher Güte (Abb. 26), um eine Spannung  $U_i = 200$  kV zu erreichen<sup>Ni83</sup>). Als Endverstärker werden vereinfachte Kurzwellen-Sender-Endstufen eingesetzt. Tabelle 14 zeigt einen Überblick über die Auslegung der Anlage.

Tabelle 14:

Auslegungswerte der COSY-HF-Anlage für die JULIC-Extraktions-Frequenz  $f_i$

Betriebs-Frequenz	$f_i$	27.6	MHz
Umlauf-Frequenz	$f_0$	0.460	MHz
Harmoniezahl	$h = f_i / f_0$	60	
max. HF-Spannung je Umlauf	$U_i$	200	kV
beim Tastverhältnis	$V_t$	10	%
und max. Zeitdauer	$t_{imax}$	10	ms
synchrone Phase	$\phi_s$	ca. 0.1	Grad
Resonator-Güte	$Q_0$	5000	
Längs-Koppelfaktor	$k_{  }$	3.4	1/nF
mittl. Verstärker-Leistung	$P_i$	10	kW
Verstärker-Spitzenleistung	$P_{imax}$	100	kW

Um die Wechselwirkungen mit dem Strahl während des Beschleunigungsbetriebes im COSY-Ring klein zu halten, wird der Resonator nach dem Injektionsvorgang verstimmt und bedämpft. Eine Anlage mit vergleichbaren Forderungen wird für den ESR der GSI zur Puls-Kompression eingesetzt<sup>Fr84,Kie84</sup>).

### 3.4 Elektronen-Kühler

Für COSY wird zunächst ein Elektronenkühler geplant, der für die Injektionsenergie entsprechend 22 keV optimiert ist und in einem Bereich zwischen

10 keV und 100 keV betrieben wird, was einer Protonenenergie von 18.4 bis 184 MeV entspricht. Ein 300 kV Kühler wird zur Zeit diskutiert, der es erlaubt, Protonen bis 550 MeV zu kühlen.

Das Konzept des Kühlers (Abb. 27, 28) lehnt sich an das des LEAR-Kühlers an, mit dem Protonen mit einer Energie bis zu 200 MeV gekühlt werden sollen. Insbesondere sollen die Auslegungen für Elektronenkanone (Abb. 29), Solenoide und Toroide, die sich im bisherigen Versuchsbetrieb des LEAR-Kühlers<sup>Hu82)</sup> (COSY-Note 5) bewährt haben, modifiziert übernommen werden.

Wegen der geforderten geringen Verluststromrate ( $I_v/I_s \sim 10^{-4}$ ) muß der Kollektor neu konzipiert werden. Nach diesem Konzept wird der Elektronenstrahl von mehreren Brems-Elektroden "resonant" abgebremst, d.h., daß die defokussierende Wirkung einer Elektrode auf den Elektronenstrahl von einer anderen kompensiert wird. Ein Versuchskollektor befindet sich im Bau und soll im CERN in einem Versuchsstand erprobt werden.

In Abb. 30 sind die horizontalen und vertikalen Gleichgewichtsemittanzen sowie die Impuls-Unschärfen des Protonenstrahls für ein Vakuum von  $10^{-9}$  mb in Abhängigkeit von der Kühlzeit dargestellt. Die Rechnungen wurden mit einem Monte-Carlo Programm<sup>Wo85)</sup> durchgeführt.

Die Daten für den COSY-Elektronenkühler sind in der nachstehenden Tabelle 15 zusammengefaßt:

Tabelle 15: Daten des Elektronen-Kühlers

---

Allgemein:

- Spannungsbereich	10 - 100	kV
- entsprechende Protonenenergie	20 - 184	MeV
- Elektronenstrahldurchmesser	2.5	cm
- Elektronenstrom bei 100 kV	4	A
- Platzbedarf des Kühlers	8	m
- Länge der Kühlstrecke	3	m

Elektronenkanone:

- Perveanz	0.13	$\mu P$
- Länge	600	mm
- Durchmesser	500	mm

Kollektor:

- Elektronenenergie im Kollektor	3	keV
- Kühlleistung	12	kW
- Länge	600	mm
- Durchmesser	500	mm

Solenoid:

- magn. Flußdichte (Strahlachse)	0.1	T
- Homogenität der Flußdichte	$10^{-4}$	
- äußere Durchmesser	400	mm
- Längen über:		
Elektronenkanone	1300	mm
Kühlstrecke	3000	mm
Kollektor	700	mm
- Stromstärke (bei 0.1 T)	650	A
- Gesamtleistung (bei 0.1 T)	20	kW

Toroide:

- magn. Flußdichte (Strahlachse)	0.1	T
- mittlerer Durchmesser	700	mm
- Biegeradius (Strahlachse)	1050	mm
- Biegewinkel	36	Grad
- Stromstärke (bei 0.1 T)	550	A
- Gesamtleistung (bei 0.1 T)	11	kW

---

### 3.5 Stochastisches Kühlen

Der Einbau der Kühleinrichtungen am Ring erfolgt auf festen Plätzen. Die Einrichtungen für das stochastische Kühlen sind getrennt für den transversalen Phasenraum und für das Impulskühlen ausgelegt. Die Wege der Signalleitungen sind in Abb. 2 dargestellt. Die transversalen Signal-Aufnehmer (Pick-Up) stehen in einer Zone großer Dispersion. Der zugehörige Kickertank steht in einem weitgehend dispersionsfreien Bereich<sup>Co81, Me83, Mo80, Mo83, Ta83</sup>).

Das Kühlsystem hat eine Bandbreite von  $< 2$  GHz im Frequenzbereich  $< 4$  GHz. Die Verstärker sind Wanderwellenröhrenverstärker<sup>Ta83</sup>) mit einer Ausgangsleistung im Bereich 40-200 W.

Die obere Grenzfrequenz für TEM-Wellen in den geraden Sektionen liegt bei ca. 1.8 GHz. Wesentlich höhere Bandbreiten lassen sich wegen der großen Vakuumkammerabmessungen nicht erreichen. Durch den Aufbau des Pick-Up als rechteckige Kammer stellen sich obere Grenzfrequenzen von 3.8-4.2 GHz ein. Erst oberhalb werden andere Ausbreitungsmoden angeregt. Die beiden transversalen Komponenten x,z werden in einem gemeinsamen Pick-Up-Quartett in der gleichen Vakuumkammer gemessen. Jeder einzelne Pick-Up besteht dabei aus 65 Einzelkopplern.

Der UHV-Tank, sowohl für Pick-Up als auch für den Kicker, hat eine Länge von 2.5 m. Die aus den 260 Einzelkopplern gewonnenen Signale werden, wie in Abb. 31 dargestellt, in gekühlten Microstrips zusammengefaßt und zum Verstärker übertragen. Die Koppler werden durch Richtkoppler realisiert<sup>Te84</sup>), wodurch die Rauschleistung im Pick-Up reduziert wird. Das Übertragungssystem ist in 77 Ohm-Technik dämpfungsarm aufgebaut. Die Abnahme des Signal-Rausch-Verhältnisses bei fortschreitender Kühlung wird durch eine Reduzierung der Systemverstärkung ausgeglichen. Dazu sind die Gegenkopplungsstrecken der Verstärker mit PIN-Diodenschaltern ausgerüstet, so daß entsprechend den Signalen aus der

Spektrum-Analyse die Verstärkung in Stufen herabgesetzt werden kann. Zur Impulskühlung wird die Filtermethode<sup>Mo80,Th78</sup>) angewendet. Die Signale der Kühlsysteme können für die Strahldiagnose benutzt werden.

### 3.6 Strahldiagnose

Für die Beobachtung der Strahleigenschaften werden Diagnostikeinrichtungen<sup>Ko79, Bo84</sup>) im Injektionsstrahlpfad, im COSY-Ring und im Extraktions-Kanal installiert. Folgende Arten von Sensoren sind im COSY-Ring positioniert (Abb. 32):

Strahlstrom-Transformator (BC) mit Gleichstrom-Korrektur:

Zur Messung des in COSY umlaufenden Strahles (mit oder ohne Zeitstruktur) ist ein Strahlstrom-Transformator mit Gleichstrom-Korrektur (1 Einheit) vorgesehen<sup>Un81</sup>). Damit können Ströme bis herunter in den  $\mu\text{A}$ -Bereich gemessen werden.

Elektrostatische Positions-Monitore (POS):

Mit elektrostatischen Positions-Sonden wird der Schwerpunkt der transversalen Teilchen-Verteilung im Strahl gemessen<sup>Be83, Hal85</sup>).

Dies ist u.a. erforderlich zur Kontrolle und Korrektur der Sollbahn ("Closed Orbit"), zur Steuerung der Frequenz des Beschleunigungs-Resonators (RHFi) bei Beschleunigung und zur Bestimmung des Synchrotron-Arbeitspunktes ( $Q_x, Q_z$ ).

Man benötigt etwa 4 Meß-Stationen (für x und z) pro Betatron-Wellenlänge. Für Arbeitspunkte zwischen 3.0 und 5.0 sind daher 19 Positionsmonitor-Stationen (x/z) mit einer Auflösung  $\sim 0.1$  mm vorgesehen. Die Positions-Messung erfolgt für HF-Phasen- und Amplituden-Regelung. Für "Closed Orbit" Beobachtung

und -Korrektur erfolgt die Messung im Frequenz-Bereich mit einem Netzwerkanalysator. Die Signale aus den Positions-Monitoren werden außerdem zur schnellen Strahlagekorrektur mit den Injektions-Bumper-Magneten benutzt.

#### Schnelle Phasensonde (PH):

Bei Injektions- und Synchronisations-Problemen interessiert die Phasenlage zwischen einzelnen Bunches oder einem Bunch und einer HF. Für diese Phasen-Messung ist eine schnelle Phasen-Sonde vorgesehen, die nach Möglichkeit auch als Einzelbunch-Monitor (Bunch-Form) benutzt werden soll<sup>Ba70, Wa78</sup>).

#### Strahlprofil-Monitore (PRO):

Mit Strahlprofil ist hier die transversale Intensitätsverteilung im Teilchenstrahl bezeichnet. Man kann Größe und Orientierung der transversalen Emittanz-Fläche ermitteln, wenn man 3 Profile hat und die Transport-Matrizen der dazwischen liegenden Lattice-Komponenten kennt.

Darüber hinaus geben Profil-Monitore speziell in der Einfahr-Phase viel detaillierter Aufschluß über Strahlqualität und -eigenschaften als beispielsweise der reine Positions-Monitor. Mit SEM-Grid-Profil-Monitoren<sup>Be83</sup>) (SEM: Sekundär-Elektronen-Monitor) werden Projektionen der transversalen Intensitätsverteilungen gemessen. Für den Speicherring-Betrieb ist ein Atomic-C-Jet (1 Einheit) geplant<sup>Gal84</sup>).

#### Strahl-Begrenzer (Blenden) (BL):

Zur Bestimmung und Definition der transversalen Emittanz und der Dispersion sind mehrere Strahl-Begrenzer vorgesehen. Sie bestehen jeweils aus 4 unabhängig fahrbaren Backen, so daß verschiedene Formen und transversale Positionen von Aperturen realisiert werden können.

Einrichtungen zur direkten Betrachtung des Strahles (SB):

Einrichtungen zur Strahlbetrachtung sind mehr oder weniger strahlstörende Geräte: Szintillatoren, Gas-Ionisations-Strecken zur Beobachtung des Restgasleuchtens<sup>Re85</sup>).

Analyse des Schottky-Rauschens:

Für einen Teilchenstrahl geringer Intensität oder ohne Bunch-Struktur ist Schottky-Analyse<sup>Bo80</sup>) eine der wenigen Methoden, Strahleigenschaften wie  $\Delta p$ ,  $\Delta Q$ ,  $Q_x$ ,  $Q_z$ , Emittanz usw. zu messen.

Als Sensoren dienen die elektrostatischen Positions-Monitore für die Sollbahn-Beobachtung und die Signal-Aufnehmer für das stochastische Kühlen. Für ungünstige Verhältnisse sind zusätzlich wenigstens 4 Stationen mit besonders empfindlichen Kopplern (RK) vorgesehen, deren Elektroden evtl. dem Strahl nachgefahren werden können<sup>Wi83</sup>).

Messung der BTF (Beam Transfer Function):

Das Verfahren besteht darin, den Strahl mit Kickern definiert anzuregen und die zeitliche Entwicklung der Störung zu analysieren. Dies soll mit den Koppler-Stationen, den Signal-Aufnehmern und den Kickern für das stochastische Kühlen geschehen<sup>Bo79</sup>).

Die Diagnose-Einrichtungen für den COSY-Ring sind in Tabelle 16, für die Injektions- und Extraktions-Strahlführung in Tabelle 17 zusammengestellt.



Tabelle 16: Zusammenstellung der Strahl-Diagnose-Einrichtungen im COSY-Ring

Art	Anzahl der Stationen	Messung
Strahlstrom-Transformator (DC):	1	Strahlstrom
Elektrostatische Pick-Ups für transversale Position:	19	"closed orbit"-Kontrolle, HF-Steuerung, Steuerung von Korrektur- Magneten, Messung $Q_x$ , $Q_z$
Einzelbunch-Monitore:	1	schnelle Phasen-Messung für Injektionen und Synchronisa- tion, Bunch-Form
Strahlprofil-Monitore: SEM-Grids	8	Studium der Strahlqualität, Berechnung von Strahl- parametern
Molekularstrahl	1	
Blenden:	6	Beschneidung des Strahles (x, z, Dispersion), Emittanz-Definition
Strahl-Betrachtung:	5	Hilfsmittel für Einfahr-Phase
Richtkoppler x, y:	4	Schottky-Analyse

Tabelle 17:

Zusammenstellung der Strahldiagnose-Einrichtungen in Injektions- und Extraktions-Strahlführung

Art	Anzahl der Stationen	Messung
Beamstop (Faraday-Cup)	6	Strahlstrom-Messung
Strahlstrom-Transformator	1	Strahlstrom (Online)
Pick-Up für transversale Position (x,z)	1	dynamische Strahlkontrolle (Online)
Strahlbetrachter (Szin- tillatoren, SEM-Grids, Flipper-Kammern), Inj.	10	Beobachtung des Strahles, Rechnerauswertung für On- line-Korrektur ("Visual Digitizer")
Profil-Monitore (SEM-Grid, Flipper- Kammern), Extr.	6	Messung des Strahlprofils
Blenden (x,z, Inj.)	6	Strahldefinierende Elemente (z.B. x,x' ...)
Blenden (x oder z, Extr.)	4	Orts-, Winkel-Definition
Einzelbunch-Monitore Bunch-Form	1	Schnelle Phasenmessung

### 3.7 Vakuum-System

Die Wechselwirkung des Strahls mit dem Restgas (im wesentlichen Coulomb-Streuung) setzt seiner Lebensdauer eine Grenze. Um für ausreichende Zeiten eine brauchbare Strahlqualität zu erhalten, und um bei Experimenten im Ring das Verhältnis Restgasmenge/Targetdicke klein zu halten, ist das Vakuumsystem für einen Restdruck von  $\leq 10^{-10}$  mbar ausgelegt. Das setzt Ausgasraten der verwandten Materialien von  $10^{-12}$  bis  $10^{-14}$  mbar $\cdot$ l $\cdot$ sec $^{-1}$  $\cdot$ cm $^{-2}$  voraus.

Die Vakuum-Kammern für den Ring und für die Injektions- und Extraktionsstrecken werden ähnlich denen am LEAR<sup>Lef84)</sup> aus Edelstahl hergestellt, in Teilstücken mit Flanschen und Kompensatoren gefertigt und mit Metalledichtungen zusammengebaut.

In den Dipolmagneten werden Kammern von einem ovalen bis rechteckigen Querschnitt mit einer lichten Weite von 170 x 57 mm<sup>2</sup> und einer Wandstärke von 2.5 mm verwendet. Die durch Wirbelströme entstehende Feldüberhöhung von 4 mT bei 1 T/s wird durch Sextupole korrigiert. Abb. 13 zeigt einen Schnitt durch die Dipol-Kammer.

Vor der Montage sind spezielle Reinigungsverfahren, Lecktests und ein Vakuumglühen - für Edelstahlkomponenten bei 950° - zum Herausdiffundieren von H<sub>2</sub> vorgesehen.

Das vollständig montierte Vakuum-System muß zur Desorption von Ablagerungen einen Ausheizzyklus durchlaufen, wobei es 48 Stunden auf 300°C gehalten und mit Turbopumpen abgepumpt wird. Zu diesem Zweck werden die Kammer und alle angeflanschten Vakuum-Komponenten mit Heizbändern, Heizmanschetten und Heizhauben ausgerüstet, die zur Reduktion von Wärmeverlusten mit einer Isolierschicht versehen sind. Als Anschlußwert für die Heizleistung ist 0.4 W/cm<sup>2</sup> anzusetzen. da wegen wechselnder Einbauten das gesamte System durch Sektorventile in Teilbereiche aufgetrennt wird, läßt sich die Ausheizprozedur sukzessive vornehmen.

Wegen der geringen Leitwerte der Kammern werden ca. alle 2 m Pumpen mittlerer Saugleistung eingesetzt, zusammengefaßt in Pump-Einheiten. Abb. 33 zeigt die Hälfte einer Strukturperiode des Ringes mit Magneten, Pumpen und Diagnose-Elementen.

Der Zyklus des Auspumpens beginnt mit Turbo-Molekularpumpen (VPTi), die den Druck auf etwa  $10^{-6}$  mbar reduzieren. Sie werden nach der Inbetriebnahme von Ionenzerstäuberpumpen (VPIi) über ausheizbare Ventile mit Metall-Dichtungen von der Vakuumkammer abgetrennt. Der optimale Arbeitsbereich der Ionenzerstäuber-Pumpen liegt zwischen  $10^{-5}$  und  $10^{-9}$  mbar, und ihr Vorteil gegenüber anderen Pumpentypen besteht darin, daß sie auch Edelgase und Methan pumpen.

Zur weiteren Druckreduktion sind Titan-Sublimationspumpen (VPSi, optimaler Arbeitsbereich  $10^{-9}$  bis  $10^{-12}$  mbar) vorgesehen, die selektiv Wasserstoff und aktive Gase wegpumpen. An einigen Stellen mit besonders hohem Gasanfall (z.B. e-Kühler) werden NEG-Pumpen (non evaporable getter) eingesetzt.

Die Zusammenstellung der Pump-Einheiten ist in Tabelle 18 wiedergegeben.

Tabelle 18: Pump-Einheiten

Typ	Anzahl:	Ionenzerstäuber- pumpen:	Titansublimations- pumpen:	Turbomolekular- pumpen:
VAi	22	1 Stck: 120 l/s	1 Stck: 1500 l/s	
VBi	27	1 Stck: 230 l/s	2 Stck: 1500 l/s	
VCi	5	1 Stck: 400 l/s	3 Stck: 1500 l/s	
VATi	5	1 Stck: 120 l/s	1 Stck: 1500 l/s	1 Stck: 330 l/s
VBTi	4	1 Stck: 230 l/s	2 Stck: 1500 l/s	1 Stck: 330 l/s

Zur Kontrolle des Abpump-Prozesses und zur kontinuierlichen Überwachung im Betrieb werden bei höheren Drücken die üblichen Vakuum-Meßgeräte und bei kleinen Enddrücken Ionisations-Manometer vom modifizierten Bayard-Alpert-Typ eingesetzt. Information über die Zusammensetzung des Restgases, z.B. bei der Suche nach Kontaminationen (oder Lecksuche) liefern Quadrupol-Massenspektrometer mit SEV (Nachweisgrenze für Partialdrücke  $5 \cdot 10^{-14}$  mbar).

Die Überwachung des Vakuumsystems, vor allem die Erfassung der Zustände aller Komponenten (u.a. Pumpen, Ventile, Vakuummeßgeräte) und deren logische Verknüpfung, wird durch ein Rechner-System geschehen, das in die Leittechnik integriert ist. Die Verriegelung der wichtigsten Komponenten wird konventionell, d.h. über Kontakte erfolgen.

### 3.8 Instrumentierung

Die Instrumentierung von COSY erfolgt als System mit verteilten Aufgaben und autonomer Verantwortung einzelner Komponenten. Die Aufgaben werden dabei unter Aufgliederung in drei Schichten unterschiedlicher Intelligenz realisiert (Abb. 34): der reinen Steuerungsebene, den Mikrocomputerkartensystemen und der Minicomputerebene.

#### 3.8.1 Schichten

##### Steuerebene:

Diese Ebene umfaßt, beginnend mit den einfachen Interlocksystemen, z.B. in Netzversorgungen für die Temperatur- und Kühlwasserüberwachung, die Klimaführung, usw., bis hin zu Aufgaben im Bereich des Vakuumanfahrens und der Ausheiz-Prozeduren als Steuer- und Regelaufgaben auf der niedrigsten Ebene. Di-

rekt an diese Ebene schließt sich das Personensicherheits- und Strahlenschutzsystem an. Die Sicherheitssysteme sind als autonome Systeme mit ausfallsicherer Stromversorgung ausgeführt, die ihre Software aus ROM's laden, so daß ihre Funktionen nach der Inbetriebnahme ohne weitere Hochfahrprozeduren sofort zur Verfügung stehen.

#### Prozeßautomations-Systeme, Mikroprozessor-Kartensysteme:

Im Bereich der Netzgeräte, der Hochfrequenzerzeugung und Resonatorsteuerung für Elektronen-Kühler und durchgängig im Bereich der Diagnose werden Kartensysteme für die digitale und analoge Ein-/Ausgabe im mittleren Geschwindigkeitsbereich mit Ereignisraten bis zu 100 kHz eingesetzt. Hier wird der COSY-Status erfaßt und die Parameter-Zustandsgrößen-Regelung ausgeführt. In diesen Modulen wird ein Großteil der Regelungsaufgaben realisiert. Eingeschränkt sind hier dann auch schon Datenreduktionsaufgaben durchführbar. Als Beispiel seien hier FFT oder CHIRP-Z-Transformationen<sup>Nu82)</sup> zur Untergrundreduktion in langsamen Vorgängen angeführt.

#### Mikrocomputer- und Minicomputerebene:

Diese Ebene umfaßt die leistungsfähigsten Instrumentierungskomponenten. Der Anwendungsbereich dieser Minicomputersysteme beginnt da, wo Echtzeit-Datenbankfunktionen benötigt werden, bei der Parameter aus den ionenoptischen Anforderungen für die einzelnen Komponenten umgesetzt werden. Die Daten werden aus den unterlegten Schichten der Instrumentierung gewonnen und durch anschließende geeignete Reduktionsverfahren komprimiert. Diese Funktionen werden durch schnelle aufwendige Regelalgorithmen Ereignisrate ( $> 500$  kHz) erweitert. Die Datenreduktionsaufgaben für schnelle DFT-CHIRP-Z- und andere Reduktionsarten können hier ausgeführt werden. Diese Ebene bedient auch die schnellen In-

terfacesysteme, zum Beispiel für die Parametrisierung der HF-Regelstrecke. Hier besteht auch die Möglichkeit der Open-loop-Estimation für komplizierte, nicht lineare Regelstrecken.

### 3.8.2 Realisierung

#### Steuerebene:

Auf der Steuerebene kommen Automatisierungsgeräte für den industriellen Einsatz zur Anwendung. Für alle in dieser Ebene angesiedelten Aufgaben sind, gestuft vom einfachsten Gerät zur Überwachung von Schutzkreisen und einfachen Steuerfunktionen über Modelle der mittleren Leistungsklasse mit einem Prozessor für unterlegte Steuer- und Regelaufgaben bis hin zu Modellen mit mehreren Prozessoren für Regel- und Kommunikationsaufgaben, die geeigneten Geräte vorhanden. Die Steuerungen sind über standardisierte Bus und Kommunikationssysteme untereinander gekoppelt. Darüber kann jederzeit ein Abbild des entsprechenden Gerätezustandes der einzelnen Steuerung gewonnen und der Microcomputerebene übergeben werden. Die Programmierarbeiten erfolgen in einer auf Steuer- und Regelaufgaben zugeschnittenen Programmiersprache.

#### Mikroprozessor-Kartensysteme:

Zur Lösung der hier gestellten Aufgaben bieten sich zwei Alternativen; beide liegen in ihrer Funktionalität unterhalb des Multibus II. Zum einen kommen kommerziell in der Verfahrenstechnik und Anlagentechnik eingesetzte Prozessorsysteme und zum anderen VME-Bus oder Multibus I Systeme in Frage.

In beiden System-Gruppen sind die geforderten Funktionen realisierbar. Die Betriebssystemumgebung kann als stabil betrachtet werden. Zusätzlich steht

für den VME-Bus auch UNIX zur Verfügung. Durchgängig wird zur Problemlösung PASCAL als Programmiersprache eingesetzt. Dadurch ist eine gute Erreichbarkeit von Lösungen und eine einfache Programmwartung gesichert. Es ist durch die Auswahl des Systems sichergestellt, daß keine aufwendigen eigenen Kartenentwicklungen selber durchgeführt werden müssen.

#### Mikrocomputer- und Minicomputerebene:

Im Bereich der Instrumentierung kommen hier HP1000 - A Serie Mikro- und Minicomputer zum Einsatz. Für sehr schnellen I/O stehen eine Reihe von Interfaceboards zur Verfügung, bis hin zu ADC, DAC Karten. Z.B. kann das 16 bit Parallelinterface bis zu 1.05 Mio 16 bit Worte pro Sekunde übertragen. Hier, sowie auch bei den Mikroprozessor-Kartensystemen, wird die Programmierung in PASCAL erfolgen. Zur Katalogisierung der Beschleunigerdaten steht eine Echtzeitdatenbank mit programmierbarem Zugriff zur Verfügung. Das verwendete Betriebssystem ist UNIX-ähnlich aufgebaut, so daß auch hier durchgängig ein Filesystem verwendet wird. Die verfügbare Rechenleistung ist auch für ionenoptische Modellrechnungen ausreichend. Die Modellpalette ermöglicht eine einfache Anpassung der Rechnerhardware an das Anforderungsprofil. Rechnerleistung von Modell A600 16 bit slice Microcomputer<sup>AMD85)</sup> bis zur A900 als Pipeliner mit Vektorgleitkommaarchitektur ist unter demselben Betriebssystem verfügbar. Das obere Ende der Leistungsskala wird durch RISC-Architektur-Rechner<sup>IEEE85)</sup> unter UNIX abgerundet.

#### 3.8.3 Netzwerk-Kommunikation

Das Rückgrad des Netzwerkes bildet ein 75 Ohm Breitbandsystem. Es ermöglicht die Rechnerkopplung sowie die Kommunikation zwischen Rechner und unterlagerten Ebenen auf einem physikalischen Transportmedium mit entsprechend nie-



drigen Installationskosten. In einem Kanal auf diesem Medium läuft dann auch der Terminalzugriff auf die einzelnen Instrumentierungskomponenten. Ein Übergang auf das installierte Datenswitch Develnet usw. Terminalnetzwerkssystem ermöglicht dann auch einen KFA-weiten Zugriff auf die Einzelrechner innerhalb der COSY-Instrumentierung, sowie die Möglichkeit, aus dieser Umgebung auf die ZAM-Großrechner oder auf andere Minicomputer in der KFA zuzugreifen.

Auch durch die einfache Möglichkeit, an jedem Rechner eine Netzwerk-Interface-Einheit und damit unmittelbaren Terminalzugriff auf jeden Rechner zu haben, besteht eine komfortable Möglichkeit, einzelne Aufgabenkomplexe im Betrieb von COSY quasi vor Ort zu erledigen. Den Operateuren ist jederzeit ein Eingriff über Terminal in jeden Instrumentierungsrechner und auch in die Kartensysteme möglich. Das ist besonders in der Prozeß-Visualisierung wichtig, da so die Datenaustauschwege freigehalten werden von reinen Operatorinformationen für spezielle Beschleunigerfunktionen. Die Kopplung der Rechner und Mikroprozessorkartensysteme erfolgt über IEEE 802 Protokolle. Damit ist auch für die Zukunft eine Hardware- und Software-Unterstützung der Kommunikationssysteme sichergestellt. Die in der Bauphase getätigten Investitionen sind auch für einen längeren Betriebszeitraum geschützt. Die Experimentrechner werden über das Netzwerk mit den für die Versuchsanalyse notwendigen Daten versorgt. Änderungen und Erweiterungen im System sind ohne aufwendige Neuinstallationen möglich. Als Übersicht für das gewählte Konzept sind in Abb. 34 die Ebenen der Instrumentierung mit einigen sie charakterisierenden Komponenten dargestellt. Durch Anordnung eines 75 Ohm Kabels entlang des Ringes sind Anschlüsse von Komponenten überall möglich.

Die Daten-Aufnahme und Auswertung der Experimente wird unabhängig vom Beschleuniger-Betrieb ausgelegt.

### 3.9 Targetplätze

Für die wissenschaftliche Nutzung des COSY-Speicherrings sind interne (TP1 - TP3) und externe (TPEX1 - TPEX5) Experimentierplätze vorgesehen (Abb.1).

#### 3.9.1 Interne Experimentierplätze

Die Strahleigenschaften für die drei internen Experimentierplätze TP1 - TP3 und für drei Arbeitspunkte sind in der Tabelle 2 beschrieben. Besonders TP1 ist durch ionenoptische Flexibilität ausgezeichnet. So können hier niedrige  $\beta_x$ - und  $\beta_z$ -Funktionswerte am Target-Ort eingestellt werden, wenn man hohe Luminosität anstrebt. Es können aber auch große  $\beta_x$ -,  $\beta_z$ -Funktionswerte eingestellt werden, die man für Kleinwinkel-Streuexperimente oder für Messungen mit besonders guter Winkel-Auflösung braucht.

Für Präzisionsexperimente vom "missing-mass"-Typ mit BIG KARL bei niedriger Energie kann die notwendige Dispersion eingestellt werden. Am TP1 stehen  $\pm 2$  m zur Verfügung.

Der Meßplatz TP2 ist für Experimente mit kleiner Dispersion vorgesehen. Maximal stehen 5 m Länge in Strahlrichtung zur Verfügung. Hier kann das geplante Gastarget (COSY Note 32) eingesetzt werden.

Der Experimentierplatz TP3 dient der Erzeugung bzw. der Messung von Neutronen bei  $0^\circ$ . Für die Targetinstallation steht etwa 1 m Platz zur Verfügung. Diese Targetstation ist außerdem geeignet zur Untersuchung von Reaktionsprodukten, die in den folgenden Biegemagneten aufgrund der unterschiedlichen Impulse vom Strahl separiert und analysiert werden.

### 3.9.2 Externe Experimentierplätze

Es stehen zwei Extraktionssysteme zur Verfügung: ein schnelles zum Strahlstrop im Nordosten des Ringes und ein langsames zu den Targetplätzen TPEX1 bis TPEX3 (Abb. 1).

Nach Phasenraumkühlung und mit langsamer stochastischer Extraktion zeichnet sich der Strahl an diesen Targetplätzen durch außergewöhnliche Strahlqualität aus:

Energievariable Protonen von 40 bis 2500 MeV, Emittanzen bis herunter zu  $0.15 \pi \cdot \text{mm} \cdot \text{mrad}$  und  $\Delta p/p \sim 10^{-4}$  (für  $10^9$  Teilchen im Ring).

Am Experimentierplatz TPEX1 kann zunächst eine vorhandene Streukammer installiert werden, so daß sehr bald Streuexperimente an Targetfolien durchgeführt werden können.

Der Meßplatz TPEX3 erlaubt die Nutzung von BIG KARL am gegenwärtigen Ort mit COSY-Strahlen.

Während die meisten für COSY vorgeschlagenen Experimente (siehe COSY-Notes) mit den Plätzen TPEX1 - TPEX4 und TP1 - TP3 ermöglicht werden, gibt es zusätzlich interessante Möglichkeiten, die den Ring selbst in die Experimente einbeziehen<sup>Jü86</sup>) (COSY-Notes).

## 3.10 Strahlenschutz und Personen-Sicherheit

### 3.10.1 Strahlenmessung

Kontaminations- und Dosisleistungs-Meßgeräte:

Für die Personenkontaminationsüberwachung werden 5 Hand-Fuß-Monitore benötigt (einer an der Treppe zum Übergang in das Halleninnere und vier im Halleninneren). Für die Dosisleistungsmessung ergibt sich ein Bedarf von 4 Beta/Gamma-, 1 Teleskop-Gamma- und 2 Gamma-Dosisleistungsmessern.

#### Luftüberwachung:

Während des Strahlbetriebs wird die Luft innerhalb der Abschirmung um den Ring zwar nicht stark aktiviert, jedoch liegen die Aktivitätskonzentrationen weit über den abgeleiteten Grenzwerten der Tabelle IV 4 des Anhangs IV der StrlSchV. Die Ableitung der Luft muß nach § 46 StrlSchV auf jeden Fall überwacht werden. Zu diesem Zweck wird die Abluft aus dem Ringinneren in einen gemeinsamen Abluftschornstein geführt und vor der Entlassung ins Freie mit einer handelsüblichen Luftüberwachungsanlage kontinuierlich auf ihren Aktivitätsgehalt überwacht.

#### Abwasser-Überwachung:

Eine kontinuierliche Überwachung der Aktivitätskonzentration im Abwasser ist nicht vorgesehen, da die Konzentration an radioaktiven Stoffen gering sein wird. Die entstehenden Abwässer werden gesammelt und ihre Aktivitätskonzentration wird vor der Entlassung in den Abwasserkanal gemessen.

#### Umgebungs-Überwachung:

Die Strahlungsüberwachung in der nahen Umgebung des COSY wird mit Neutronenmonitoren durchgeführt. Sie werden an bzw. in unmittelbarer Nähe der Außenwand der Ringabschirmung bzw. der externen Targetplätze fest installiert. Außerdem werden diese Monitore auch in der Personensicherheitsanlage benutzt, indem das Überschreiten einstellbarer Schwellwerte eine Unterbrechung des Strahlbetriebs herbeiführt. Wegen dieser zweiten Funktion wird eine relativ dichte Überwachungskette von etwa 21 Geräten benötigt.

### 3.10.2 Personensicherheitsanlage

Für die Konzipierung der Personensicherheitsanlage wurde vom bestehenden System am Isochronzyklotron ausgegangen. So ist vorgesehen, daß auch am COSY vor Strahlbetrieb ein Warnzyklus ablaufen muß. Außerdem sollen Zustandsanzeigen akustisch und/oder optisch den jeweiligen Betriebszustand der Maschine anzeigen. Die Zugänge zu den Sperrbereichen (Halleninneres und Ringinneres) werden mit Kontaktgebern ausgerüstet, die nur in bestimmten Stellungen die Inbetriebnahme bzw. den laufenden Strahlbetrieb ermöglichen. Schließlich werden noch zusätzliche Konditionen für Inbetriebnahme und Strahlbetrieb durch logische Verknüpfung von Zuständen einzelner Komponenten festgelegt.

Wegen der Weiträumigkeit der Anlage ist zusätzlich zum System am Zyklotron eine Fernseh-Überwachung der Sperrbereiche vorgesehen. Die Luftüberwachungsanlage soll nicht in die Personensicherheitsanlage eingreifen. Zur Erreichung der notwendigen Flexibilität, die mit festverdrahteten Logikschaltungen nicht zu erreichen ist, wird ein Automatisierungs-System (z.B. SIMATIC S5) eingesetzt. Die Notwendigkeit für den Einsatz eines solchen Systems ergibt sich auch aus der relativ großen Zahl von Untersystemen bzw. Einzelkomponenten, die registriert, überwacht, geregelt, logisch verknüpft und dokumentiert werden müssen.

### 3.10.3 Abschirmung

#### Seitenabschirmung:

Für die Dimensionierung der Seitenabschirmung nach außen wurde zugrunde gelegt, daß dort (außerhalb der COSY-Halle, innerhalb der KFA) die Bedingungen des Überwachungsbereichs und außerhalb der KFA die des Nicht-Strahlenschutz-Bereiches eingehalten werden. Die Bestimmung der Abschirmdicken wurde nach der

"Moyer-Methode" vorgenommen<sup>St82</sup>). Damit ergibt sich bei einer Protonenenergie von 1500 MeV und einer Verlustrate von  $10^9$  Protonen/s als Abschirmdicke für die geraden Sektionen ein Betonäquivalent von 2.7 m. Für die gekrümmte Sektion im Westen beträgt der Wert etwa 3.2 m Beton, wenn in diesem Bereich ein Targetplatz eingerichtet werden soll.

Da durch die Experiment-Aufbauten und vor allem durch die Magnete des COSY eine zusätzliche Abschirmung vorhanden ist, kann aus Strahlenschutz-Gründen akzeptiert werden, eine Rundum-Abschirmung mit einer Dicke von 2.0 m vorzusehen. Dabei muß allerdings die Möglichkeit vorgesehen werden, nach Inbetriebnahme bei Bedarf lokal die Abschirmung verstärken zu können.

Da das Halleninnere bei Strahlbetrieb gesperrt werden soll, muß die Abschirmung um den Ring zum Halleninneren hin nur so bemessen werden, daß die sky-shine-Dosis der unter kleinen Winkeln zur Horizontale emittierten Neutronen die zulässigen Werte (0.9 mSv/Jahr im Bereich außerhalb der KFA) nicht überschreitet. Wie unten gezeigt, ist dafür eine Betondicke von 50 cm ausreichend. Mit dieser Abschirmung ergeben sich im Halleninneren maximale Dosisleistungen von etwa 3.2 mSv/h.

#### Deckenabschirmung:

Für die Berechnung der sky-shine-Dosis der nach oben aus dem Ring emittierten Neutronen wurde vor allem auf die Arbeit von Alsmiller<sup>Al80</sup>) zurückgegriffen. Die Rechnungen führten zu dem Ergebnis, daß eine Deckenabschirmdicke von 50 cm Beton-Äquivalent für den weitaus größten Teil der Decke ausreichend ist. An Blenden und anderen Stellen mit erhöhtem Strahlverlust wird entsprechend den Messungen die Abschirmung lokal verstärkt. Maximal wird in der westlichen, gekrümmten Sektion eine Dicke von 100 cm Beton-Äquivalent benötigt, wenn in diesem Bereich Targetplätze installiert werden. Dies wird entsprechend den Messungen nach der Inbetriebnahme erfolgen.

### 3.11 Gebäude, Ver- und Entsorgung

#### 3.11.1 Gebäude

Der Synchrotron-Ring mit seinen Nebenanlagen und die Experimentier-Plätze sind in einem Hallenbau untergebracht (Abb. 1, 4 und 35). Die Abmessungen der Halle ergeben sich aus der Größe des Beschleuniger-Ringes, dem Platzbedarf für die Experimente und den aus Strahlenschutzgründen erforderlichen Abschirm-Maßnahmen. Darüber hinaus ist an einer Stirnseite Hallenplatz vorgesehen, um schwere Lasten mit Fahrzeugen in die Halle zu bringen. Ein Teil dieser Fläche steht für Experimente zur Verfügung.

Das Hallenkonzept ist einerseits so flexibel gestaltet worden, daß die z.Zt. bekannten Experimentier-Wünsche von den räumlichen Möglichkeiten her realisiert werden können, andererseits zwingen Kostengründe zu baulichen Einschränkungen und zur Festlegung von wirtschaftlichen Lösungen.

Die geplante COSY-Halle (Abb. 1, 4, 35) hat folgende Abmessungen:

Länge: ca. 104 m

Breite: ca. 41 m

Höhe: ca. 14 m

Der umbaute Raum beträgt ca. 62 000 m<sup>3</sup>. Die Bauausführung ist mit Stahlbeton-Fertigteilen geplant. Die Fassaden bestehen aus doppelschaligen beschichteten Trapezblechen mit Wärmedämmung. Die Dacheindeckung besteht ebenfalls aus beschichtetem Trapezblech mit 1-schaligem Warmdach.

Die Halle ist aus Kostengründen in Längsrichtung geteilt, um die Spannweite der Dach-Konstruktion sowie der Kran-Bahn zu reduzieren. Deshalb werden zwei parallel laufende Kräne mit einer Spannweite von je 20 m und einer Tragkraft von 320 kN eingebaut.

Die aus Strahlenschutzgründen erforderliche Abschirmung des Ringes nach den Seiten und nach oben erfolgt in Beton. Die Abschirmung an den äußeren Längsseiten des Ringes ist gegossen und Bestandteil der Hallenwände. Für die innere Abschirmung und die Deckenabschirmung werden stapelbare Betonplatten verwendet. Im Bereich der Strahlextraktionen erfolgt die Abschirmung durch Stapelsteine. Die Oberseite des Strahltunnels ist bei abgeschaltetem Strahl über den äußeren Abschirmwänden als Galerie begehbar.

Innerhalb der Abschirmwände ist der Strahltunnel an den Längsseiten 4.6 m und an den Stirnseiten 5.6 m breit; die Höhe beträgt 3.6 m. An eine Stirnseite der Halle schließt sich ein Anbautrakt an, in dem die Steuer-, Rechner- und Auswerte-Räume untergebracht sind und sich der Zugang zum Ring befindet. In seinem Obergeschoß sind Büroräume und die Lüftungsanlagen untergebracht. Der Anbautrakt ist zur Aufnahme der Pumpen der Wasserkühlkreisläufe und der Medien-Übergabestation unterkellert.

Die Kriterien für die Wahl des geeignetsten Standplatzes der COSY-Halle am Zyklotron der KFA sind:

- \* kurze Strahlführung zwischen Zyklotron und COSY
- \* Verschiebemöglichkeit von BIG KARL von seinem jetzigen Standort an COSY
- \* Einbeziehungsmöglichkeit der existierenden Nord-Ost-Halle des Institutes für Kernphysik (IKP) in COSY
- \* Nähe des Halleneinganges zum IKP, da die Büro-, Werkstatt- und Lagerräume des IKP für COSY genutzt werden sollen
- \* Ausbaumöglichkeit der Halle an der Ostseite
- \* Möglichkeit der Einrichtung einer Neutronenflugstrecke
- \* Freie Fläche südöstlich von COSY- und Nord-Ost-Halle des Zyklotrons für späteren Aufbau eines Boosters für Injektion
- \* Errichtung der Halle auf dem bisherigen KFA-Gelände

Diese Anforderungen erfüllt der Standplatz, der in Abb. 1 dargestellt ist.



### 3.11.2 Elektro-, Wasser- und Klima-Versorgung:

Die erforderliche elektrische Puls-Anschlußleistung von ca. 21 MVA kann durch die "Station Nord" der KFA zur Verfügung gestellt werden.

Es ist eine Kühl- und Kaltwasserversorgungs-Trasse geplant. Insgesamt müssen ca. 4.5 MW Wärmeleistung abgeführt werden.

Es sind 2 Klimaanlage vorgesehen, von denen eine die Experimentier-Halle versorgt und die andere die Steuer-, Auswertungs- und Rechner-Räume.

## 4. ANHANG

### 4.1 Referenzen

- A180 R.G. Alsmiller Jr., Skyshine at Neutron Energies  $\leq 400$  MeV  
ORNL-TM-7512 (1980)
- AMD85 Datenblatt des AMD-AM29XX-Bausteines
- Ar85 J. Arvieux, Physics at Saturne II, Present and Future  
Vortrag 21.11.85, KFA Jülich
- Ba70 S. Battisti, Booster Beam Transformers  
CERN - MPS/SI/CO Note 70-8 (1970)
- Be82 G.P.A. Berg, W. Hürlimann, J.G.M. Römer, Workshop on Electron Cooling  
Bad Honnef, May 1982, Jül-Spez-149, July 1982
- Be84 G. Berg, G. Gaul, H.L. Hagedoorn, A. Hardt, J.A. van der Heide, F.  
Hinterberger, M. Huber, R. Jahn, S. Martin, T. Mayer-Kuckuk, F. Oster-  
feld, H. Paetz gen. Schieck, D. Prasuhn, G. Riepe, M. Rogge, P. von  
Rossen, O.W.B. Schult, J. Speth, P. Turek  
Studie zum Bau eines kombinierten Kühler-Synchrotron-Ringes an der KFA  
Jülich, Jül-Spez-242, Febr. 1984
- Be83 L. Bernard, C. Dutriat, J. Gabardo, M. le Grad, U. Tallgren, P. Tetu,  
D.J. Williams, Wide Dynamic Range (7 Decades) Beam Position and Profile  
Measurement for the CERN LEAR  
IEEE Trans Nucl. Sci., NS-30 (1983) pp. 2247-2249
- Bo79 J. Borer, G. Guignard, A. Hofmann, E. Peschardt, F. Sacherer, B. Zotter  
Information from Beam Response to Longitudinal and Transverse Excita-  
tion, IEEE Trans. Nucl. Sci., (1979), pp. 3405-3408

- Bo80 J. Borer, J.Y. Hemery, J.P. Koutchouk, E. Peschardt, L. Vos  
ISR Beam Monitoring System using "SCHOTTKY Noise" and Transfer Functions, CERN - ISR/RF 80-30
- Bo84 J. Borer, R. Jung, Diagnostics, CERN Accelerator School, Geneve, 11-21 October 1983, CERN - 84-15, pp. 385-467
- Boa82 B. Boardman (Ed.), Spallation Neutron Source, Rutherford Appleton Laboratory, March 1982
- Bou84 D. Boussard, RF Techniques for pp', CERN Accelerator School, Geneve, 11-21 October 1983, CERN - 84-15, pp. 261-290
- Boz64 R.M. Bozorth, Ferromagnetism, (1964)
- Br80 K.L. Brown, D.C. Carey, C. Iselin and F. Rothacker, TRANSPORT - A COMPUTER PROGRAM FOR DESIGNING CHARGED PARTICLE BEAM TRANSPORT SYSTEMS, CERN - 80-04
- Br84 W. Bräutigam, H. Beuscher, H.G. Mathews, J. Reich, P. Wucherer  
ECR - Sources and Multiharmonic Mode Operation at JULIC  
10<sup>th</sup> International Conference on Cyclotrons and their Applications, East Lansing, USA (1984) p. 122
- Bu78 G. Budker, A.N. Skrinski, Sov. Phys. Usp. 21 (1978) pp. 277  
und Bericht der Novosibirsk-Gruppe in CERN-77-08, April 1977
- Co81 F.T. Cole, F.E. Mills, Increasing the Phase-Space Density of High Energy Particle Beams, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci. 31 (1981) pp. 295-335
- Co83 COSY-Arbeitstreffen, 26./27. Okt. 1983, Jül-Spez-253

- Co85 COSY - PROPOSAL FOR A COOLER-SYNCHROTRON AS A FACILITY FOR NUCLEAR AND INTERMEDIATE ENERGY PHYSICS AT THE KFA JÜLICH  
Contributions to the proposal were made by:  
G. Berg, G. Gaul, U. Hacker, C. Günther, H.L. Hagedoorn, A. Hardt, J.A. van der Heide, F. Hinterberger, M. Huber, M. Inoue, R. Jahn, K. Kilian, M. Köhler, N. Marquardt, S. Martin, T. Mayer-Kuckuk, J. Meißburger, F. Osterfeld, H. Paetz gen. Schieck, H. Poth, D. Prasuhn, G. Riepe, M. Rogge, P. von Rossen, O.W.B. Schult, J. Speth, P. Turek, G.J. Wagner  
Jülich, June 1985
- Co86 The IUCF Cooler, Indiana University Cyclotron Facility, Cooler Quarterly Status Report, # 13 - Spring 1986
- Do83 G. Dome, Theory of RF Acceleration and RF Noise, CERN Accelerator School 83, Geneve, Oct. 1983, CERN - 84-15
- Fo81 R. Forster, T. Hardek, D.E. Johnson, W. Kells, V. Kerner, H. Lai, A.J. Lennox, F. Mills, Y. Miyahara, L. Oleksiuk, R. Peters, T. Rhoades, D. Young, P.M. McIntyre,  
Electron Cooling Experiments at FERMILAB,  
IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-28 (1981) pp. 2386-2388
- Fr84 B. Franzke, H. Eickhoff, B. Franczak, B. Langenbeck, Zwischenbericht zur Planung des Experimentier-Speicherrings (ESR) der GSI, GSI-SIS-INT/84-5
- Fra84 B. Franczak, MIRKO - An Interactive Program for Beam Lines and Synchrotrons, Proc. Comp. in Accelerator Design and Operation, p. 170, Springer-Verlag (1984)
- Ga82 Proceedings of the Workshop on Physics at LEAR with Low-Energy Cooled Antiprotons, Erice, May 1982, ed. Gastaldi and R. Klapisch, Plenum Press, New York 1984
- Gal84 R. Galiana, CERN - Private Communication (1984)

- Gar85 I.S.K. Gardner, Rutherford Appleton Lab., Private Communication
- Gas86 A. Gasper, K. Kaspar, GSI, Priv. Mitteilungen
- Gr83 J. Griffin, J. MacLachlin, A.G. Ruggiero, K. Takayama  
Time and Momentum Exchange for Production and Collection of Intense  
Antiproton Beams, IEEE Trans. Nucl. Sci., NS-30 (1983) pp. 2630-2632
- GSI79 SIS, Eine Beschleunigeranlage für relativistische schwere Ionen  
GSI, Juli 1979
- GSI81 SIS, Eine Beschleunigeranlage für schwere Ionen hoher Energie  
GSI, Nov. 1981
- Ha75 I.W. Haensch, A.L. Shawlow, Opt. Comm. 13 (1975) p. 68
- Ha79 W. Hardt, Slow Extraction from Lear, CERN - LEAR-Note 64
- Ha81 W. Hardt, Ultraslow Extraction out of LEAR, CERN - PS/DL/LEAR-Note 81-6
- Hac85 U. Hacker, Der Kicker, KFA-Jül-Spez-317, Juni 1985
- Hal85 D. Hallin, CELSIUS Beam Orbit Measurement System, CELSIUS-Note 85-48
- Ho82 R. Holsinger, Field Effects Inc., The POISSON Group Programs, Workshop  
on POISSON, SUPERFISH, Oct. 1982
- Hof84 I. Hofmann, Density limitations in cooled beams, 3<sup>th</sup> LEAR-Workshop,  
Tignes, France (1985)
- Hu82 L. Huetten, H. Poth, A. Wolf, H. Haseroth, Ch. Hill, The Electron  
Cooling Device for Lear, CERN - PS/LR NOTE 82-9
- Is84 F.C. Iselin, The MAD Program, Proc. of the Europhysics Conf. on  
COMPUTING IN ACCELERATOR DESIGN AND OPERATION, Lect. Notes in Physics  
215, Springer Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo 1984

- Jam86 J. Jamsek, A. Susini, CERN, Priv. Mitteilungen
- Jo84 A. Johansson, CELSIUS, Workshop on the Physics with Heavy Ion Cooler Rings, MPI Heidelberg, May 29/30, 1984
- Jü84 IKP Annual Report, Jül-Spez-305 (1984) p. 337
- Jü86 COSY-Arbeitstreffen über geplante Experimente im Bereich der Kernphysik und der Mittlereenergiephysik, 16./17.12.1985, Bad Honnef, veranstaltet von der COSY-Arbeitsgemeinschaft nordrheinwestfälischer Universitäten, ed. G.P.A. Berg, Jül-Spez-345, Februar 1986
- Kas80 K. Kaspar, M. Emmerling, A. Gasper, Prototype of a synchrotron accelerating station, GSI Sci. Rep. 1979, GSI 80-3, p. 222
- Kas81 K. Kaspar, M. Emmerling, A. Gasper, Measurements on the ferrite rings for the SIS prototype cavity, GSI Sci. Rep. 1980, GSI 81-2, p. 256
- Ki84 K. Kilian, Phase Space Cooling of Ion Beams by Inelastic Intrabeam Scattering, CERN/EP International report 84-05, Oct. 1984
- Ki84a K. Kilian, Physics with Antiprotons at LEAR, CERN-EP/84-58
- Kie84 P. Kienle (Hrsg.), Die Ausbaupläne der GSI, GSI Darmstadt, März 1984
- Ko79 H. Koziol, Beam Diagnostics for LEAR, Proc. of the Joint CERN-KfK-Workshop on Physics with Cooled Low Energetic Antiprotons, KfK 2836 (Mai 1979), pp. 75-84 and CERN - PS/AA Note 79-3, LEAR-Note 53
- Kr85 D. Krämer, Auslegung der TSR-Magnete, MPI Heidelberg - Private Communication
- Le81 V.S. Letokhov, V.G. Minogin, Phys. Rep. 73 (1981) pp. 1
- Lef84 P. Lefevre, LEAR, CERN - PS/LEA Note 84-7

- Lö85 F. Löffler, F. Weiss, DESY, Priv. Mitteilungen
- Ma80 S. Martin, W. Schott, C.A. Wiedner, Study of a Storage Ring System with an Internal Target. Institut für Kernphysik, KFA Jülich, Annual Report 1980, Jül-Spez-99 (1981) 160-161
- Ma83 S. Martin, A. Hardt, J. Meißburger, G.P.A. Berg, U. Hacker, W. Hürli-  
mann, J.G.M. Römer, T. Sagefka, A. Retz, O.W.B. Schult, K.L. Brown, K.  
Halbach, The QQDDQ Magnet Spectrometer "BIG KARL", Nucl. Instr. &  
Meth., Vol. 214 (1983) pp. 281-303
- Mac83 M. Macri, Gas Jet Targets, Lecture given at CERN ACCELERATOR SCHOOL  
1983, Genf, Okt. 1983, CERN-84-15, Geneva, Dec. 1984
- Ma85 S.A. Martin, D. Prasuhn, W. Schott, C.A. Wiedner, A STORAGE RINGE FOR  
THE JULIC CYCLOTRON, Nucl. Instr. and Meth., A236 (1985) 249
- Me83 S. van der Meer, Optimum Gain and Phase for Stochastic Cooling Systems  
CERN Accelerator School, Geneve, 11-21 October 1983, CERN - 84-15, pp.  
183-196
- Mo80 D. Möhl, G. Petrucci, L. Thorndahl, S. van der Meer, Physics and  
Technique of Stochastic Cooling, Phys. Rep. Vol. 58 (1980) pp. 73-119
- Mo82 D. Möhl, K. Kilian, Phase-Space Cooling of Ion Beams  
CERN-EP/82-214, Dec. 1982
- Mo83 D. Möhl, Stochastic Cooling for Beginners, CERN Accelerator School,  
Geneve, 11-21 October 1983, CERN - 84-15, pp. 97-161
- Nu82 H.J. Nussbauer, Fast Fourier Transform and Convolution Algorithmus,  
Springer Verlag Göttingen, Heidelberg, New York, 1982
- Re84 D. Reistad und A. Susini, Diskussion über die für CELSIUS vorgesehenen  
Beschleunigungs-Strukturen, CERN, Febr. 1984

- Re85 N. Rezzonico, Seminarvortrag, KFA Jülich, Oktober 1985
- Ree85 G.H. Rees, Extraction, CERN Accelerator School, Gif-sur-Yvette, Paris, 3-14 Sept. 1984, p. 346
- Ree85a G.H. Rees, Injection, CERN Accelerator School, Gif-sur-Yvette, Paris, 3-14 Sept. 1985, p. 331
- Sk81 A.N. Skrinski, V.V. Parkhomchuk, Sov. J. Part. Nucl. 12, No. 3 (1981) pp. 223
- SNQ84 SNQ-Projektbericht zum Abschluß von Phase B  
SNQ 0 / BC 17 03 84, KFA Jülich, Seite D - 59
- So84 R.J. Sobie, T.E. Drake, B.M. Barnett, K.L. Evolman, W. Gyles, R.R. Johnson, H.W. Roser, R. Tacik, E.W. Blackmore, D.R. Gill, S. Martin, C.A. Wiedner, T. Masterson, Nucl. Instr. and Meth. 219 (1984) 501
- St82 G.R. Stevenson et al., Health-Physics, Vol. 43, No. 1 (1982) pp 13-29
- Su85 A. Susini, G. Berg, CERN, COSY-Gesprächsnotiz vom 31 Jul 85
- Ta83 C.S. Taylor, Stochastic Cooling Hardware, CERN accelerator school, Geneve, 11-21 October 1983, CERN - 84-15, pp. 163-182
- Te84 Design Report TEVATRON 1 Project, FNAL, Batavia, USA, September 1984
- Th78 L. Thorndal, G. Carron, Stochastic cooling of momentum spread with filter techniques, CERN internal report CERN/ISR/RF 78-12 (1978)
- Un81 K. Unser, A Toroidal DC Beam Current Transformer with High Resolution IEEE Trans. Nucl. Sci., (1981) pp. 2344-2346
- Wa78 M. Washio, S. Tagawa, Y. Katsumara, T. Ueda, Y. Tabata, J. Tanaka, I. Sato, S. Fukuda, Bunch Monitor of Linear Accelerator, Proc. Symp. Accel. Sci. Technol., Tokyo (1978) pp. 107-108



- Wi83 E.J.N. Wilson, Design study of an Antiproton Collector for the Antiproton Accumulator (ACOL), CERN 83-10
- Wo85 A. Wolf, Elektronenkühlung für niederenergetische Antiprotonen, Diss. Univ. Karlsruhe (TH) 1985

\*\*\*\*\*

4.2

## **COSY - NOTES**

Liste der Beiträge für den  
Kühler-Speicherring COSY

(Stand Juni 1986)

\*\*\*\*\*

- 1) S.A. Martin (IKP-KFA), First ideas about a Cooler-synchrotron (COSY) at Jülich, Workshop on Electron Cooling, Bad Honnef, May 1982, Jül-Spez 159, Juli 1982
- 2) F. Mills (FERMILAB), Review of the principles of electron-cooling, Antiproton accumulation at FERMILAB and recent results of electron-cooling, Workshop on Electron Cooling, Bad Honnef, May 1982, Jül-Spez 159, Juli 1982
- 3) H. von Geramb (Hamburg), The need for small cross section measurements at medium energies, Workshop on Electron Cooling, Bad Honnef, May 1982, Jül-Spez 159, Juli 1982
- 4) R.E. Pollock (IUCF Indiana), General comments on recirculators and beam cooling, Workshop on Electron Cooling, Bad Honnef, May 1982, Jül-Spez 159, Juli 1982
- 5) H. Poth (KFK, CERN-LEAR), Electron-cooling in combination with internal targets, Workshop on Electron Cooling, Bad Honnef, May 1982, Jül-Spez 159, Juli 1982
- 6) F. Osterfeld (IKP-KFA), The challenge of physics with a high-energy light-ion facility, Workshop on Electron Cooling, Bad Honnef, May 1982, Jül-Spez 159, Juli 1982
- 7) D. Husmann (Bonn), Acceleration and storage of polarized particle beams, Workshop on Electron Cooling, Bad Honnef, May 1982

- 8) D. Möhl and K. Kilian (CERN-LEAR), Phase-Space Cooling of Ion Beams, CERN/EP-82-214 and Lecture Notes in Physics 178, Detectors in Heavy-Ion Reactions, Oct. 6-8, 1982, HMI Berlin, ed. W. von Oertzen
- 9) H. Paetz gen. Schieck (Köln), Polarisation for COSY, COSY-Treffen 26./27. Okt. 1983, Jül-Spez 253, April 1984
- 10) R. Jahn (Bonn), Tritonenstrahl in COSY, COSY-Treffen 26./27. Okt. 1983, Jül-Spez 253, April 1984
- 11) F. Hinterberger (Bonn), Anpassung des Ringes an BIG KARL, COSY-Treffen 26./27. Okt. 1982, Jül-Spez 253, April 1984
- 12) G. Gaul (Münster), Targettechniken, COSY-Treffen 26./27. Okt. 1982, Jül-Spez 253, April 1984;  
    .---.  
    Gas-Jet and Cluster-Targets, COSY-Seminar, 24.8.1985
- 13) M. Inoue (RCNP-Osaka), Engineering Notes for COSY (RF-range and RF-voltage, time structure, injection scheme, energy and momentum compaction, storage loop, transition energy)
- 14) K. Kilian (CERN-LEAR), Phase space cooling of ion beams by inelastic intrabeam scattering, CERN/EP 84-05 (1984)
- 15) S.A. Martin, D. Prasuhn (ABT-IKP-KFA), W. Schott (TU München), C.A. Wiedner (MPI Heidelberg), A Storage Ring for the JULIC Cyclotron, Nucl. Instr. and Meth. A236 (1985), 249-255
- 16) G. Berg (IKP-KFA), Spin Excitations in Nuclei and Nuclear Structure Studies with Cooler Storage Rings, Proc. of International Conference on Nuclear Physics, Bhabha Atomic Research Centre, Bombay, India, Dec. 27-31, 1984

- 17) N. Marquardt (Bochum), Proposal for a Multi-Purpose Recoil Spectrometer with Ultra-Thin Target Station for the KFA Jülich COSY Project, Jan. 1985
- 18) P.D. Barnes, R. Besold, P. Birien, B.E. Bonner, W. Breunlich, W. Dutty, R.A. Eisenstein, G. Ericsson, W. Eyrich, R. Frankenberg, G. Franklin, J. Franz, N. Hamann, D. Hertzog, A. Hofmann, T. Johansson, K. Kilian, C. Maher, R. Müller, H. Ortner, P. Pawlek, B. Quinn, E. Rössle, H. Schledermann, H. Schmitt, J. Seydoux, J. Szymanski, P. Woldt  
(PS 185 Collaboration)  
Single Pion Production at Threshold in  $\bar{p}p$ - and  $p\bar{p}$ -Collisions at LEAR, Tignes 19.-26. Jan. 1985, 3. LEAR Workshop
- 19) K. Kilian (CERN), New Possibilities with Recoilless Kinematics using High Quality Proton Beams, CERN-EP/85-17 (1985) and Proc. of the 1984 IUCF Workshop on Nuclear Physics with Stored Cooled Beams, Bloomington, Oct. 15-17, 1984
- 20) G.P.A. Berg (IKP-KFA), COSY: A Cooler-Synchrotron for the KFA Jülich, Proc. of the 1984 IUCF Workshop on Nuclear Physics with Stored Cooled Beams, Bloomington, Oct. 15-17, 1984
- 21) S.A. Martin, G.P.A. Berg, U. Hacker, A. Hardt, M. Köhler, J. Meißburger, F. Osterfeld, D. Prasuhn, G. Riepe, M. Rogge, O.W.B. Schult, J. Speth, P. Turek (KFA Jülich); G. Gaul (Univ. Münster); H. Hagedoorn, J.A. van der Heide (Techn. Univ. Eindhoven); F. Hinterberger, M. Huber, R. Jahn, T. Mayer-Kuckuk (Univ. Bonn); H. Poth (CERN, Genf und KfK, Karlsruhe) H. Paetz gen. Schieck (Univ. Köln)  
COSY - A Cooler Synchrotron and Storage Ring, Proc. 1985 Part. Acc. Conf., May 13-16, 1985, Vancouver, British Columbia

- 22) R.E. Pollock (IUCF Indiana), A Kaon Threshold Experiment for COSY?, COSY Comments 6.6. - 5.7.1985
- 23) D. Prasuhn (IKP-KFA), COSY-Lattice, COSY-Fortbildungsseminar 23.7.1985
- 24) S. Martin (ABT-KFA), Allgemeine Design-Kriterien, COSY-Seminar, 30.7.1985
- 25) S. Martin (ABT-KFA), COSY = e-COOLING SYNCHROTRON, ABT-Seminar, 31.7.1985
- 26) M. Köhler (ZEL-KFA), Diagnostik am COSY, COSY-Seminar, 6.8.1985
- 27) G. Berg (IKP-KFA), Hochauflösende kernphysikalische Versuche im Speicherring (1. Teil), COSY-Seminar, 20.8.1985
- 28) J. Meißburger (IKP-KFA), Grundlagen einer Leittechnik an COSY, COSY-Seminar, 10.9.1985
- 29) G. Riepe (IKP-KFA), Konzept für das COSY-Vakuumsystem, COSY-Seminar, 17.9.1985
- 30) A. Hofmann (Erlangen), Kohärente und doppelte Pionenproduktion
- 31) H.G. Ehrlich (SNQ-KFA), Erste Strahlschutzaspekte am COSY, RP-Note vom 23.9.1985, SNQ
- 32) G. Gaul (Münster), Gas-Jet- und Cluster-Targets, COSY-Seminar, 24.9.1985
- 33) G. Berg (IKP-KFA), Ein hochauflösendes Experiment an COSY (2. Teil), COSY-Seminar, 1.10.1985

- 34) J. Botman (TH Eindhoven), Beschleunigertechnische Gesichtspunkte an der geplanten Kaon-Fabrik am TRIUMF, Vancouver, COSY-Seminar, 8.10.1985
- 35) D. Husmann (Univ. Bonn), Der Stretcherring ELSA am Bonner 2,5 GeV-Synchrotron, NRW-Beschleuniger-Seminar, 7.10.1985
- 36) B. Seligmann (KfK, Bonn), Arbeitspapier zu dem Elektronenstrahl-Teststand für den deutschen Kühlerklub, COSY-Note vom 16.10.1985
- 37) S. Martin, D. Prasuhn, M. Rogge, G. Berg (IKP-KFA), Vorstellung und Diskussion der aktuellen Auslegung von COSY, COSY-Seminar, Bonn, 28.10.1985
- 38) P. David (Univ. Bonn), Investigation of Properties of Nuclear Matter by Studying Heavy Fissile Nuclei with Hadronic Beams of Several 100 MeV/N to Several GeV/N Kinetic Energy, COSY-Note, 1.11.1985
- 39) J. Meißburger (IKP-KFA), Accelerator Controls, Workshop Los Alamos, October 1985 and IKP Data Acquisition Status and Future, COSY-Seminar, 5.11.1985
- 40) P. Krejcik (ABT-KFA), Lattices for the COSY-Ring with Controlled Dispersion, COSY-Note, 5.11.1985
- 41) G. Berg (IKP-KFA), Was lernt man am LEAR für COSY? Kühlen - Beschleunigen - Experimentieren, NRW-Beschleuniger-Seminar, 5.11.1985
- 42) H.P. Morsch (IKP-KFA), Riesen-Resonanzen mit COSY, COSY-Seminar, 12.11.1985
- 43) P. Kroll (Univ. Wuppertal), Multiquark States - Baryonia, Dibaryons - Where do we stand?, Invited paper presented at the Topical Seminar on "Few and Many Quark Systems", San Miniato, 1985

- 44) W. Plessas (Univ. Graz), Probing on the Nucleon-Nucleon Off-Shell Behaviour by Three-Nucleon Reactions
- 45) O. Schult (IKP-KFA), COSY-Targets, IKP-II Seminar, 4.6.1985
- 46) O. Schult (IKP-KFA), Gedanken zu einem einfachen Experiment an COSY, COSY-Seminar, 27.8.1985
- 47) U. Hacker, A. Richert, K. Sobotta (ABT-KFA), Das Instrumentierungskonzept bei COSY unter Einbindung der Diagnose, COSY-Seminar, 10.12.1985
- 48) J. Meißburger (IKP-KFA), Leittechnik, 6.12.1985
- 49) R. Siebert, J. Ernst (Univ. Bonn), Spektroskopie von Pionen und Kaonen an COSY, November 1985
- 50) A. Seeger, W. Schult (KFA-ZEL), Magnetversorgungen - COSY ( Grundsätzlicher Aufbau / Ausgewählte Vorschläge für die Versorgung der COSY-Magnete), COSY-Seminar, 7.1.1986
- 51) U. Hacker (KFA-ASI), Stochastisches Kühlen - Teil 1 (Einführung / Betrachtung im Zeitbereich), COSY-Seminar, 18.2.1986  
    . - .  
    Stochastisches Kühlen - Teil 2 (Betrachtung im Frequenzbereich / Hardware), COSY-Seminar, 25.2.1986
- 52) C. Habfast, H. Poth, B. Seligmann, A. Wolf (KfK Karlsruhe, Institut für Kernphysik) und K. Henn, S. Martin, D. Prasuhn (KFA-IKP), Der COSY-Elektronen-Kühler, März 1986

- 53) G. Wüstefeld, P. Krejcik (KFA-ASI), Toleranzanforderungen für Close Orbit, Mai 1986
- 54) P. Krejcik (KFA-ASI), Some Simpler Methods of Dispersion Control in the COSY Lattice, Mai 1986
- 55) entfällt
- 56) A. Hardt (KFA-ASI), Technische Spezifikation - Magnetbleche zur Fertigung von Lamellen für Magnete von COSY, Mai 1986
- 57) A. Hardt, G. Król, J. Ungeheuer (KFA-ASI), Justierung des COSY-Rings: a) Vermessungskonzept, b) Instrumente und Prüfverfahren, Mai 1986
- 58) D. Prasuhn (KFA-IKP), Zusammenstellung der Daten über erreichbare Teilchenzahlen bei der Stripping-Injektion von  $H_2^+$  in COSY, Mai 1986
- 59) F. Hinterberger, T. Mayer-Kuckuk (Institut für Strahlen- und Kernphysik der Universität Bonn), Ein COSY-Experimentvorschlag: Messung von Anregungsfunktionen mit hoher Energieauflösung und Statistik, insbesondere zur Untersuchung von Dibaryon und Multibaryon-Zuständen, Juni 1986



#### 4.3 Symbole - Koordinaten - Nomenklatur

$A_{\ell}$	Bucketfläche (longitudinale Akzeptanz)
$A_x, A_z$	95 % Akzeptanz Phasenraumfläche in der Waagerechten bzw. Senkrechten
$B$	Induktion
$c = 299.79 \cdot 10^6 \text{ m/s}$	Lichtgeschwindigkeit
$C = 183.47 \text{ m}$	Maschinenumfang
$D = \frac{\Delta x}{\Delta p/p}$	Dispersion
$e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$	Elementar-Ladung
$E_x, E_z$	Phasenraumfläche in der Waagerechten bzw. Senkrechten
$E_{\ell} = 2 \cdot \ \Delta T/f_0\ $	longitudinales Phasenraumvolumen (Bunchfläche)
$f$	(Betriebs-) Frequenz der HF-Anlage
$f_0$	Umlauf-Frequenz
$h = f/f_0$	Harmonie-Zahl
$L$	Luminosität = Teilchenstrom $\cdot$ Targetdicke
MD i	Dipol-Magnet Nr. i
MQC i	Quadrupol Nr. i in der Kühler-Teleskop-Sektion
MQT i	Quadrupol Nr. i in der Target-Teleskop-Sektion
MQU i	Quadrupol Nr. i in den Biegesektionen (Struktur-Periode)
MXS i	Sextupol Nr. i
$p$	Impuls der Teilchen
$Q_x, Q_z$	Synchrotron-Tune in der Waagerechten bzw. Senkrechten
$Q'_x, Q'_z = \frac{\Delta Q_2/Q_2}{\Delta p/p}$	Chromatizität in der Waagerechten bzw. Senkrechten
$Q_0$	Leerlaufgüte der Resonatoren
$T$	kinetische Energie der Teilchen
TP i	interner Target-Platz Nr. i

TPEX i	externer Target-Platz Nr. i
$T_s$	Dauer einer Synchrotronschwingung kleiner Amplitude
$T_{tr}$	Übergangsenergie; kinetische Energie der Teilchen bei $\gamma = \gamma_{tr}$
$U_0$	Spitzen-HF-Spannung je Umlauf
u	Anzahl der Umläufe in COSY
v	Teilchengeschwindigkeit
VA i	
VB i	
VC i	Pump-Einheit Nr. i nach Tab. 18
VAT i	
VBT i	
VPI i	Ionenzerstäuber-Pumpe Nr. i
VPS i	Titan-Sublimations-Pump Nr. i
VPT i	Turbo-Molekular-Pumpe Nr. i
x	waagerechte Koordinate
z	vertikale Koordinate
s	longitudinale Koordinate (bei TP1 ist s = 0)
$\alpha$	moving bucket factor
$\alpha_c$	adiabatischer Parameter
$\beta_x, \beta_z$	Lattice-Funktionen
$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}}$	relativistischer kinematischer Parameter
$\gamma_{tr}$	$\gamma$ bei der Übergangsenergie
$2\Delta p/p$	Impuls-Unschärfe (gesamte Breite)

$$\eta = - \frac{p}{f_0} \frac{df_0}{dp}$$

Impulsabhängige Streuung der Umlauf-Frequenz

$$= \frac{1}{\gamma_{tr}^2} - \frac{1}{\gamma^2}$$

$$\kappa =$$

$\frac{\text{Bahnradius vor der Umlade-Injektion}}{\text{Bahnradius nach der Umlade-Injektion}}$

$$\rho$$

Krümmungsradius der Teilchenbahn im COSY-Ring

$$\phi_s$$

Synchroner Phasen-Winkel

#### 4.4

#### Abbildungen

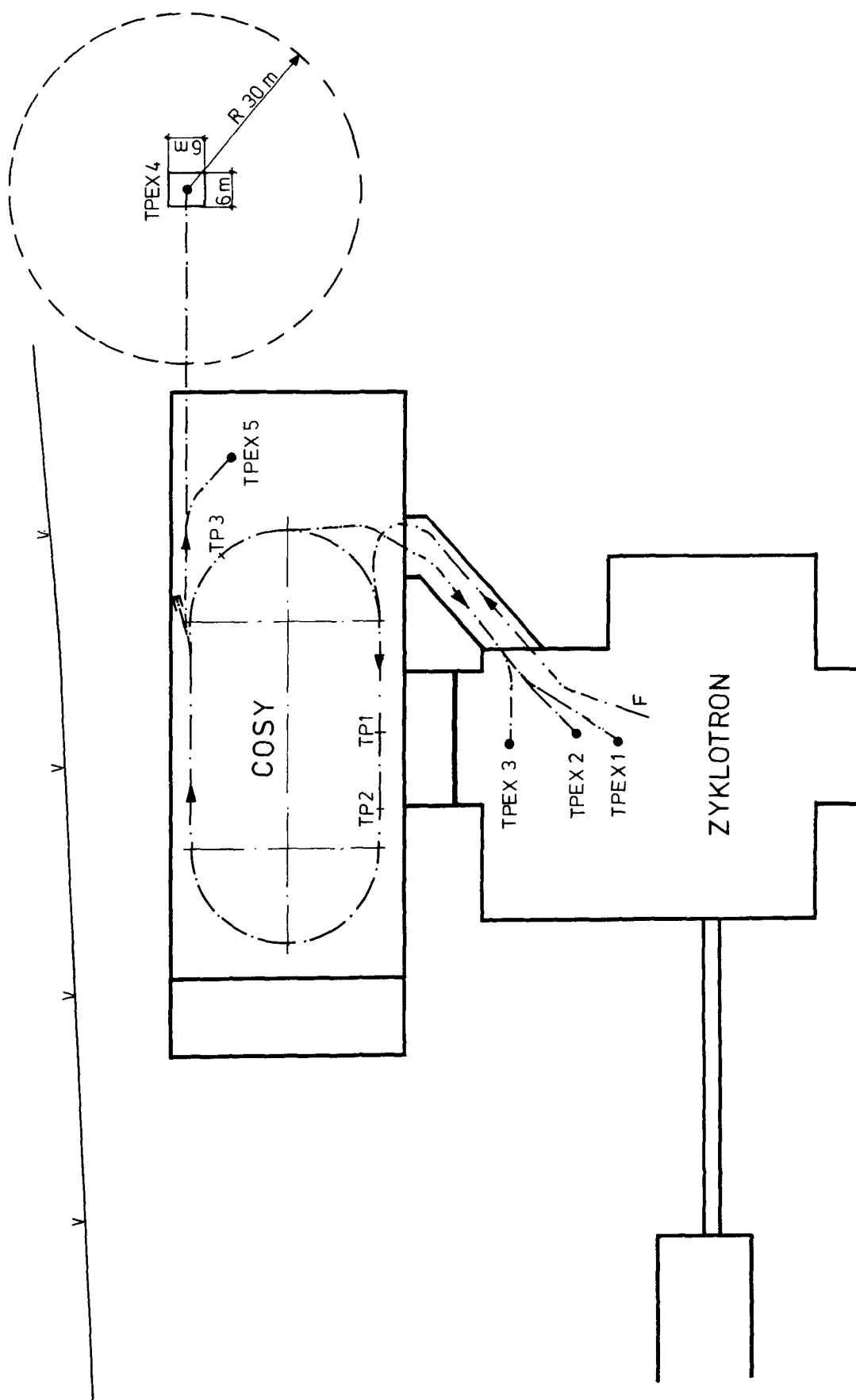


Abb. 1: Lageplan der COSY-Halle am bestehenden Zyklotron-Gebäude mit externen (TPEX1 - TPEX5) und internen (TP1 - TP3) Target-Plätzen.



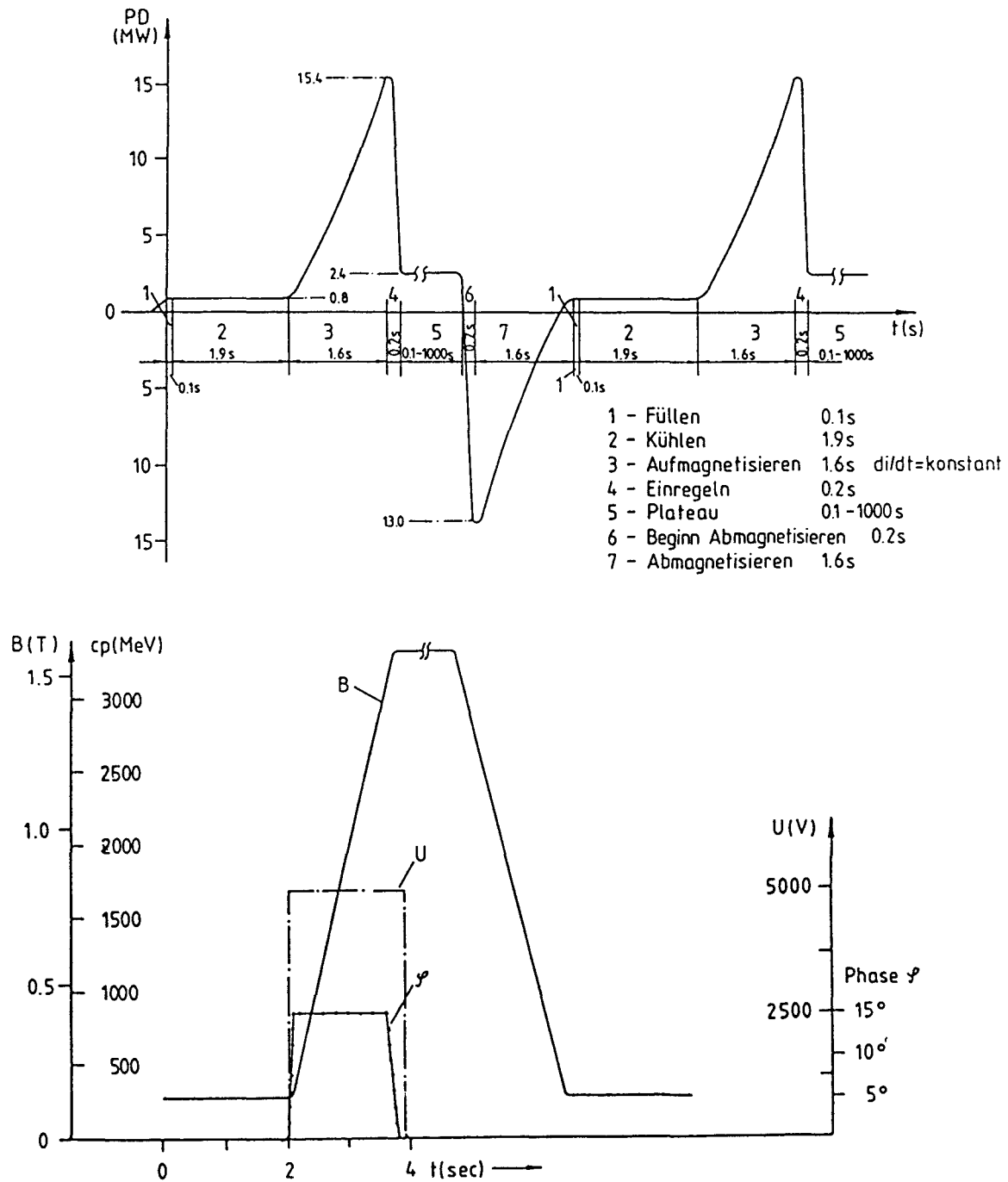


Abb. 3: COSY-Synchrotron- und Speicherbetrieb (2.5 GeV)

Leistungsverlauf (PD) an der Last, Magnetfeld (B) und Beschleunigungs-Spannung (U) .

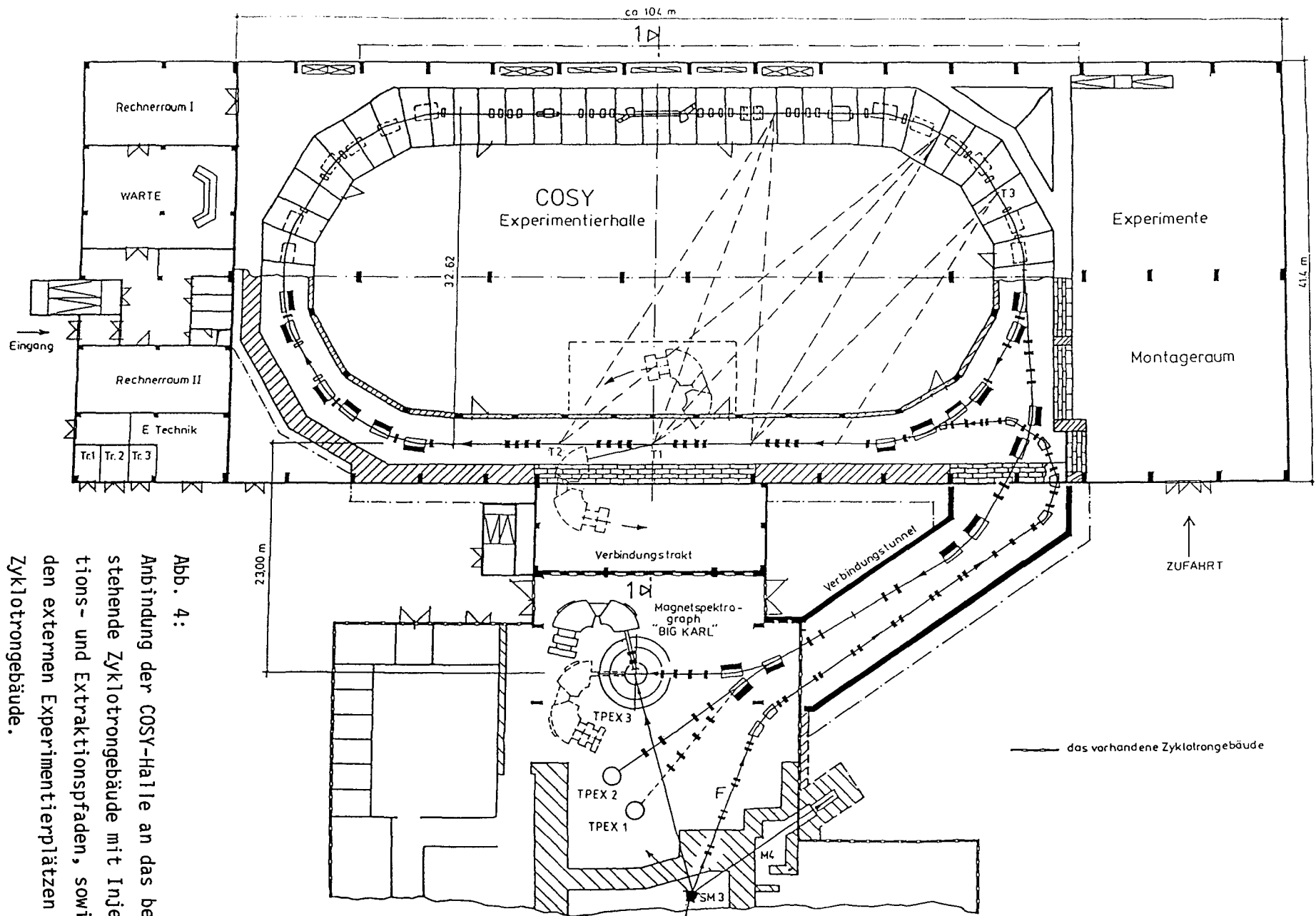


Abb. 4:

Anbindung der COSY-Halle an das bestehende Zyklotrongebäude mit Injektions- und Extraktionspfaden, sowie den externen Experimentierplätzen im Zyklotrongebäude.



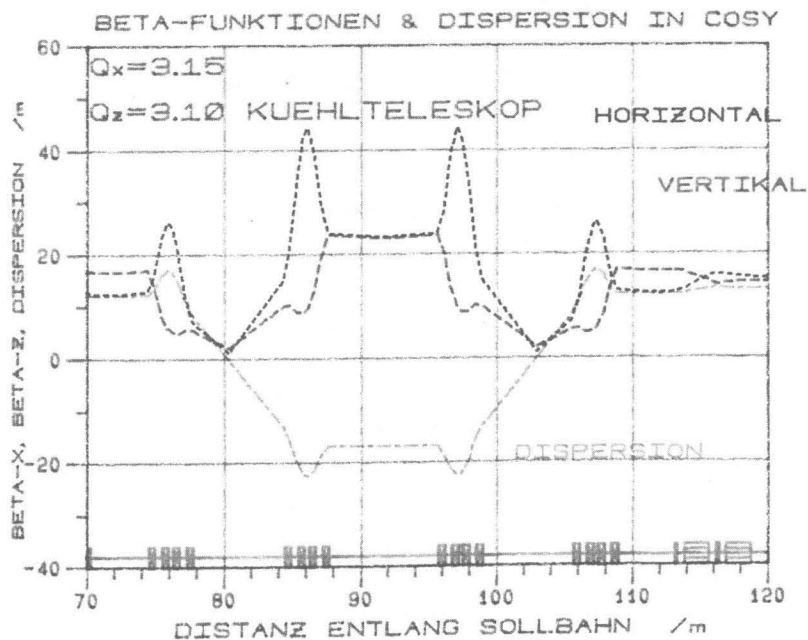
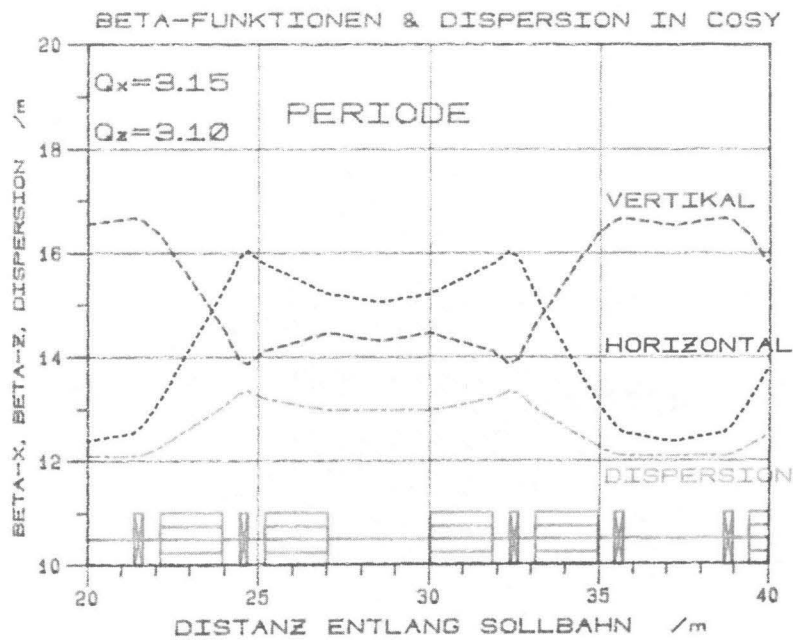
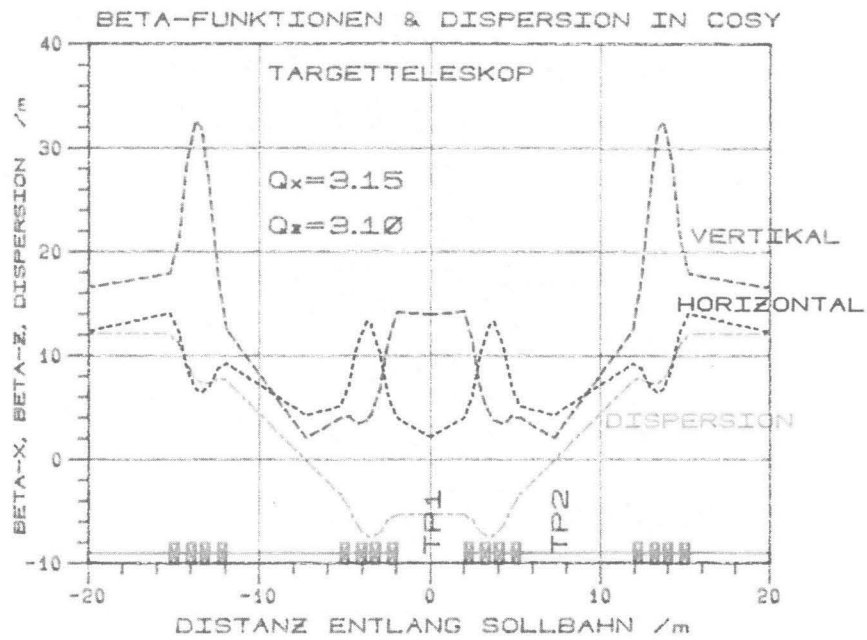


Abb. 5: Lattice-Funktionen für Arbeitspunkt:  $Q_x = 3.15$   
 $Q_z = 3.10$   
Einstellung für maximale Akzeptanz im COSY-Ring.

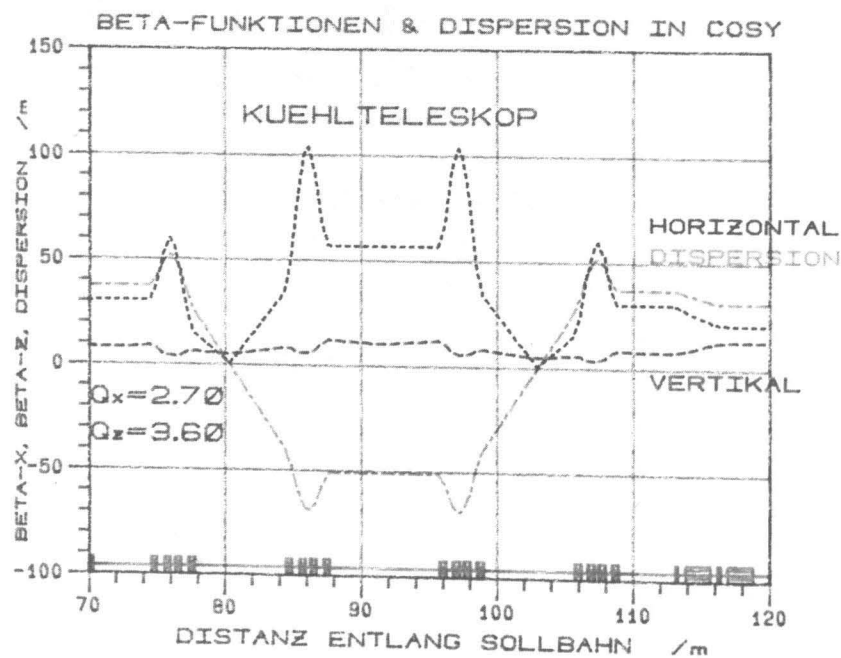
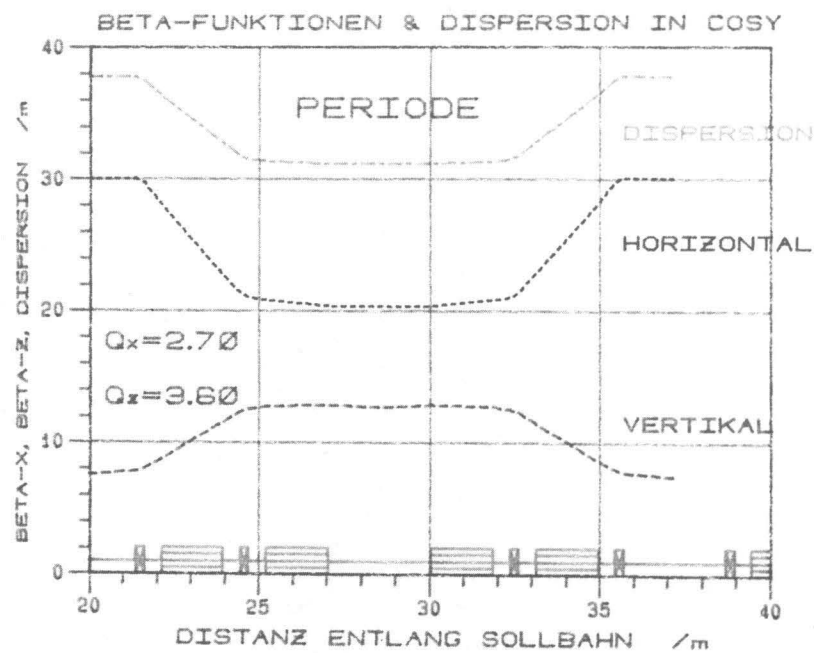
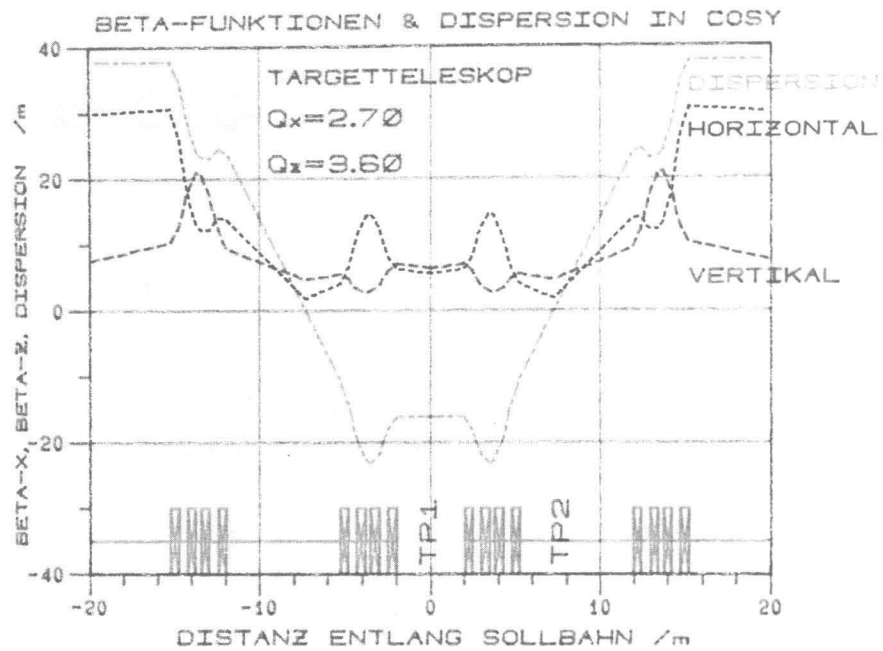


Abb. 6: Lattice - Funktionen für Arbeitspunkt:  $Q_x = 2.70$   
 $Q_z = 3.60$   
 Einstellung für Dispersion an TP1:  $D = 16 \text{ m}$ .

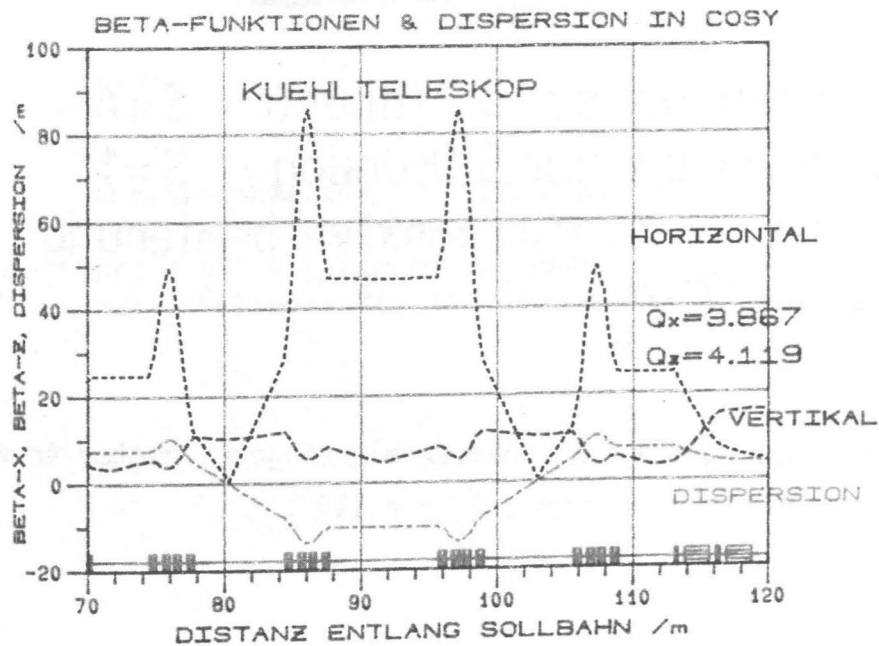
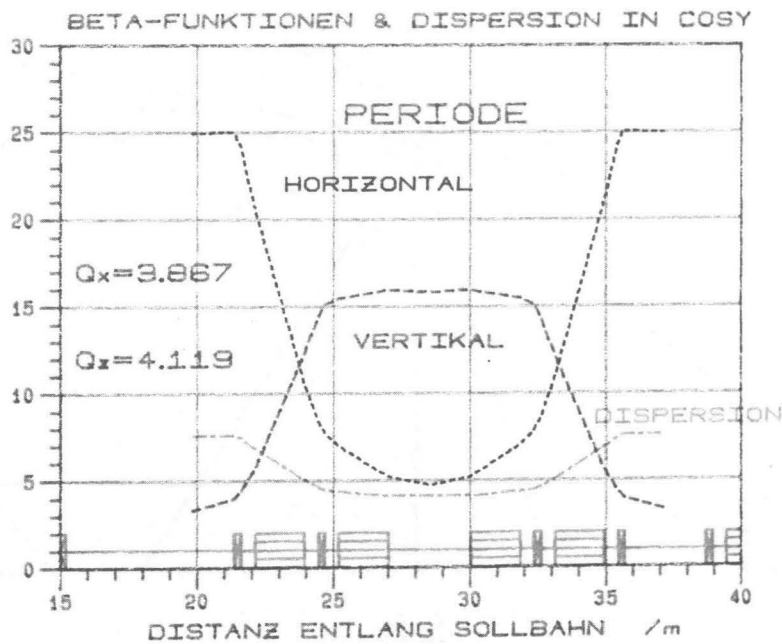
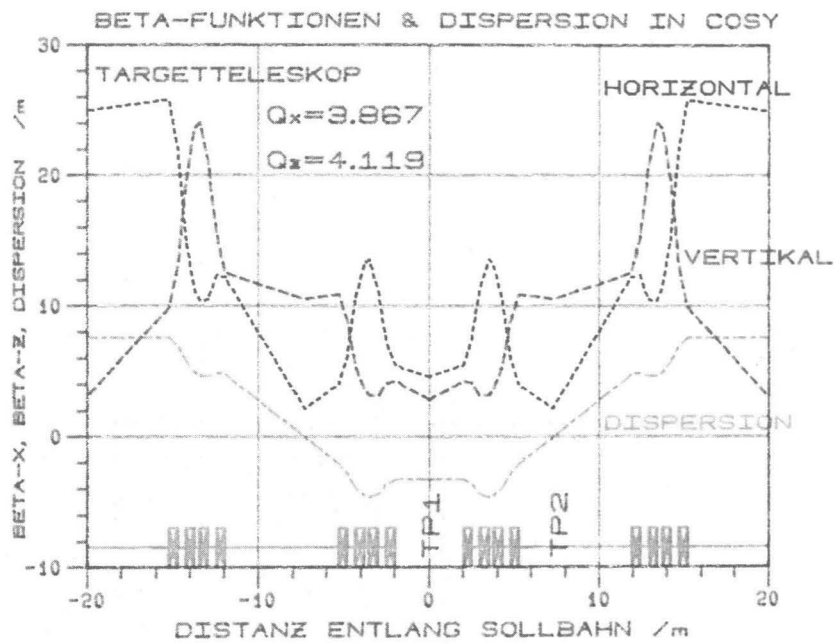


Abb. 7: Lattice-Funktionen für Arbeitspunkt:  $Q_x = 3.867$   
 $Q_z = 4.119$   
Beispiel für Stripping-Injektion .

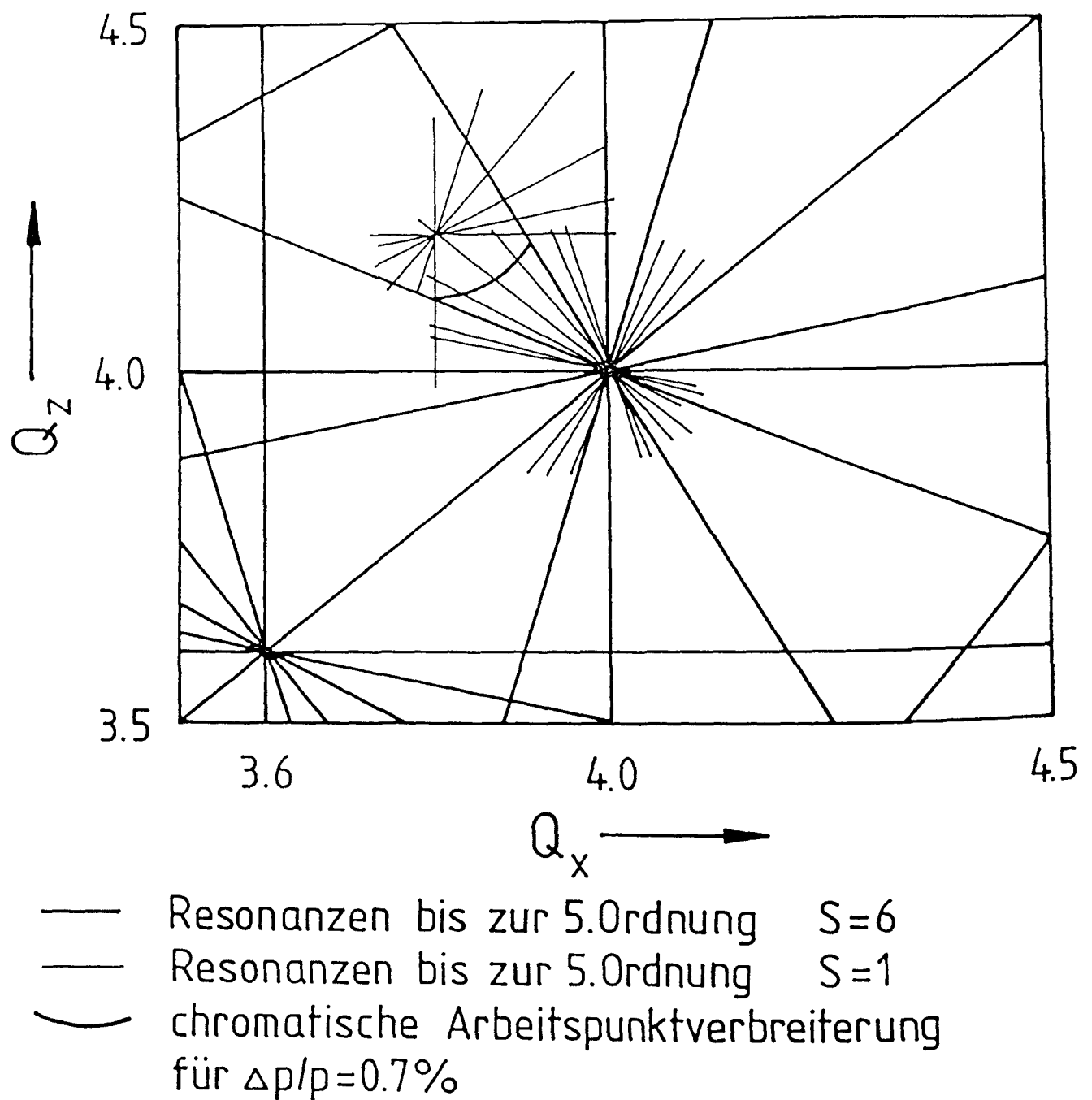


Abb. 8: Diagramm der Resonanzen mit eingezeichnetem Arbeitspunkt:  $Q_x = 3.867$ ,  $Q_z = 4.119$  .

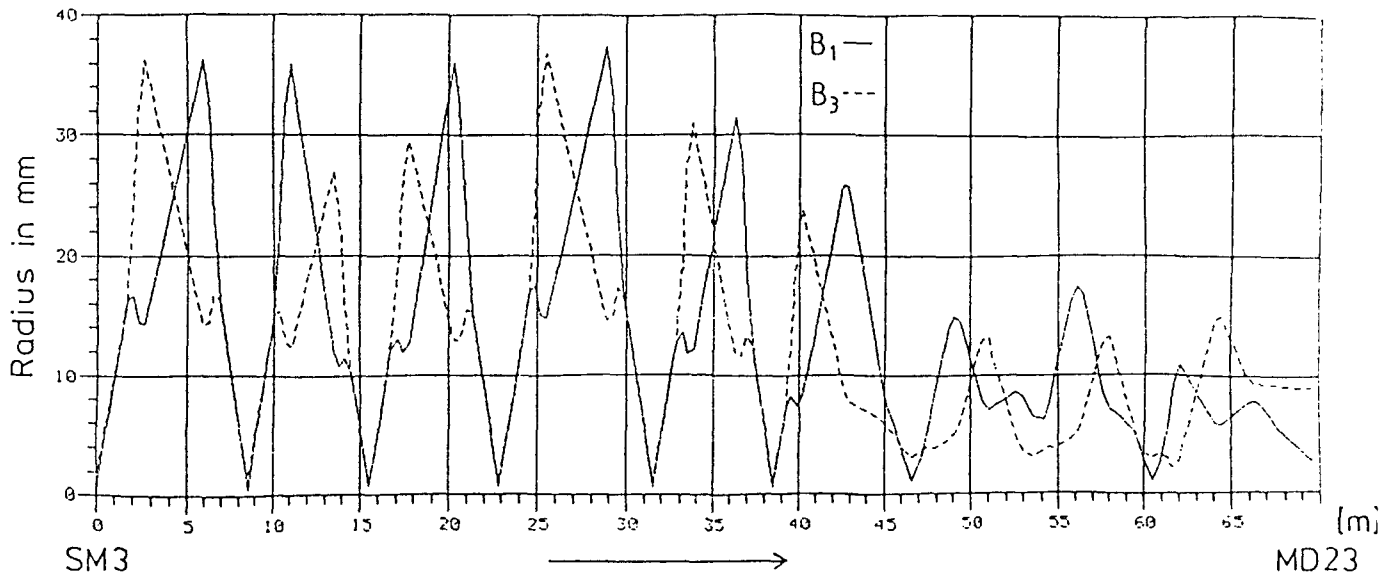


Abb. 9: Strahleinhüllende  $B_1$  (horizontal) und  $B_3$  (vertikal) für den Transport des Zyklotron-Strahles mit  $\Delta x = \Delta z = \pm 0.5$  mm,  $\Delta x' = \Delta z' = \pm 10$  mrad und  $\Delta p/p = \pm 1.5 \cdot 10^{-3}$  vom Schaltmagneten SM3 zum Umlade-Target.

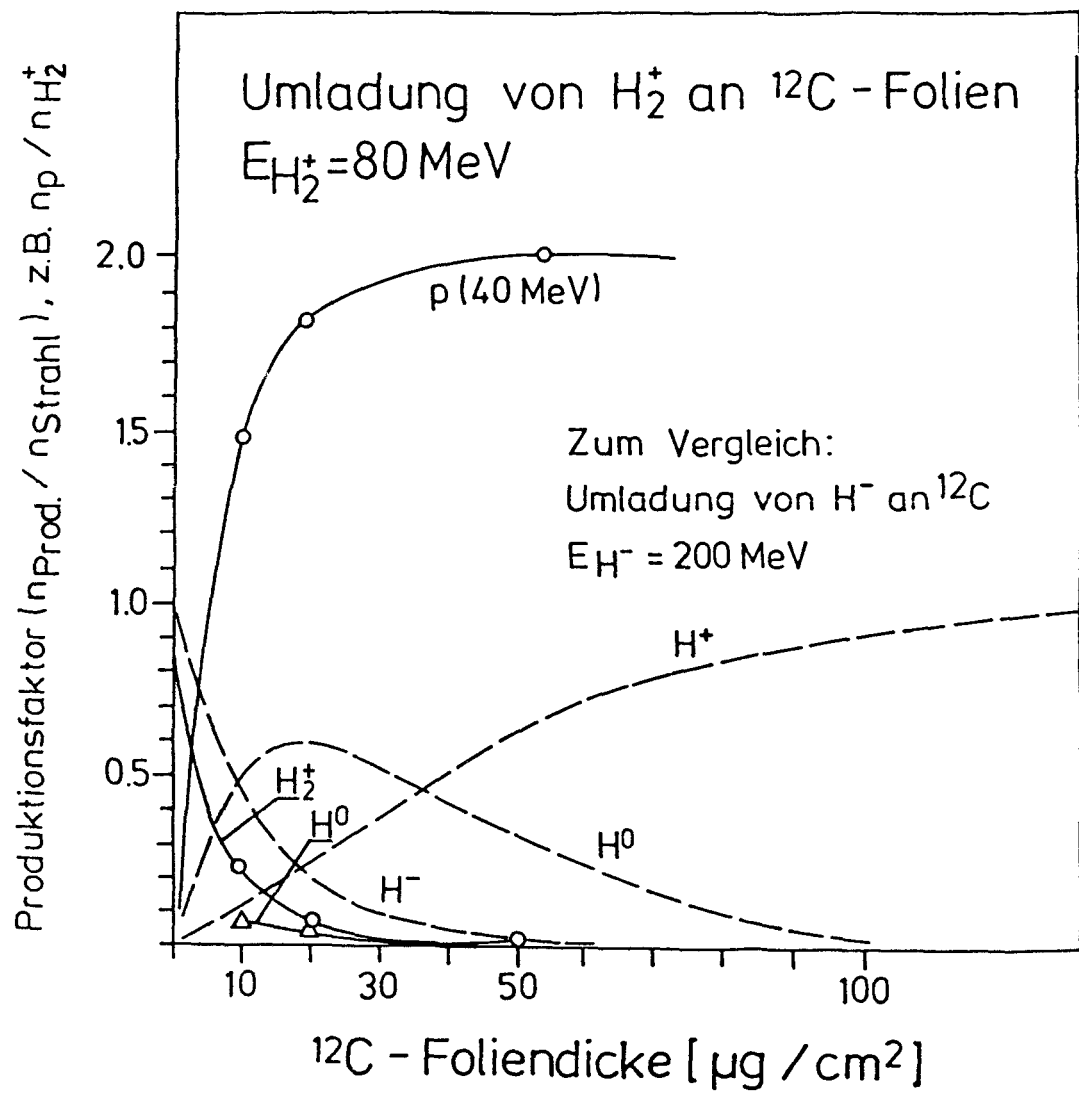


Abb. 10 Die gemessene Umladungsrate für  $H_2^+$  in Abhängigkeit von der Dicke der Umlade-Folie. (Zum Vergleich  $H^-$ -Umladungs-Messungen am FERMI-Lab., gestrichelte Kurven).

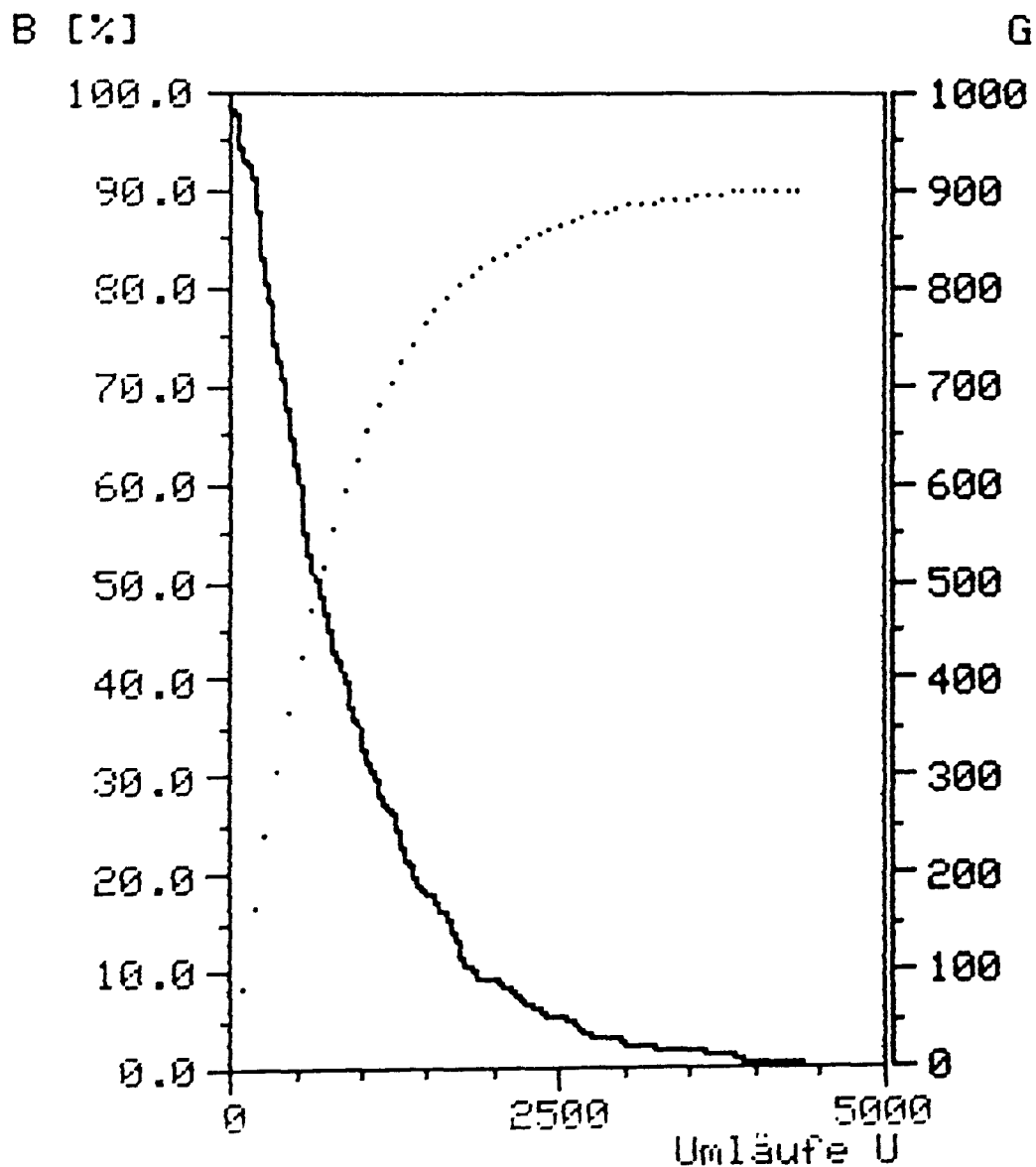


Abb. 11: Ergebnis einer Monte Carlo-Rechnung zur Abnahme der Protonenzahl  $B$  durch Streuung in der Umlade-Folie in Abhängigkeit von der Zahl der Umläufe  $U$  bei einmaligem Einschub (durchgezogene Kurve). Die Zunahme der Intensität  $G = (\text{Strom im Ring})/(\text{Strom vor der Injektion})$  bei kontinuierlichem Einschub zeigt die gepunktete Kurve. (Arbeitspunkt:  $Q_x = 3.86$ ,  $Q_z = 4.11$  mit  $\beta_x = 7.03$  m,  $\beta_z = 15.4$  m,  $D_x = 4.36$  m am Umlade-Target).

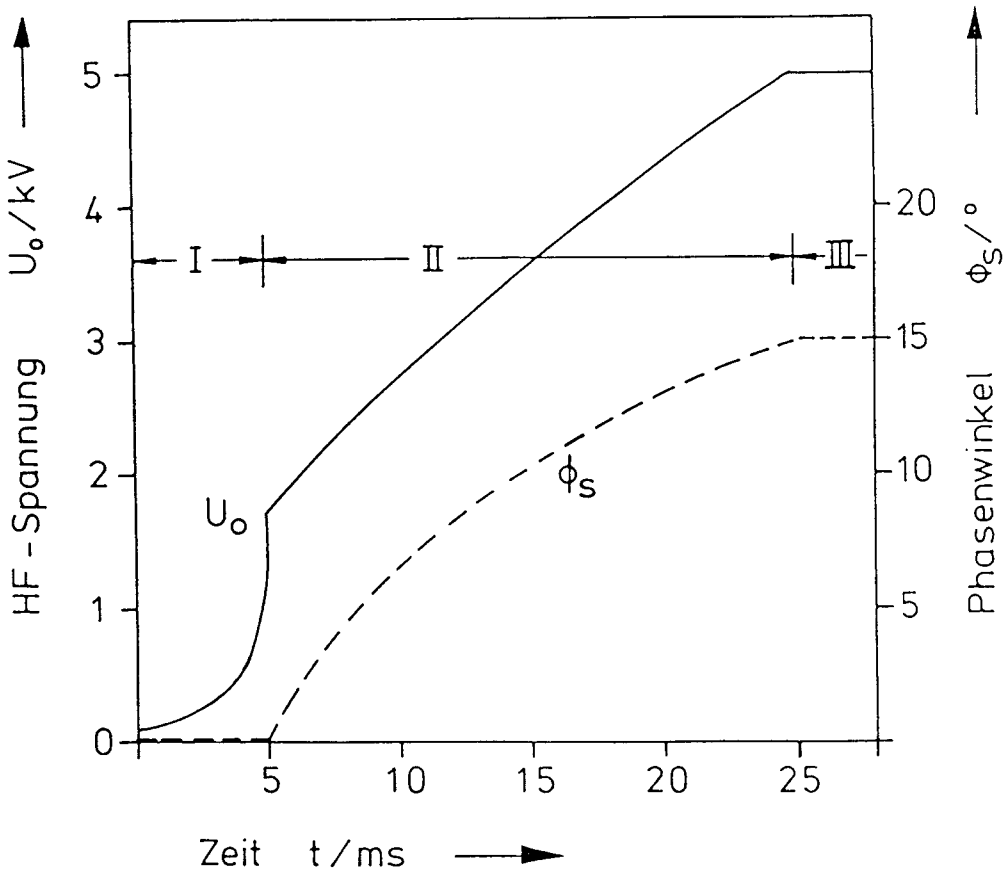


Abb. 12: Beispiel für den kürzesten Verlauf der HF-Spannungsamplitude  $U_0$  und Phase  $\phi_s$  nach der Injektion:

- I    Adiabatisches Einfangen der Protonen
- II   Hochfahren des zeitlichen Magnetfeld-Gradienten auf 1T/s
- III Beschleunigung mit 1.28 keV/Umlauf; bei zunehmender Energie kann  $\phi_s$  erhöht werden.

$\gamma_{tr}$  = 2.39  
 Impulsbreite =  $2 \cdot 10^{-3}$   
 Verh. Bunch-/Bucket-Phasenraumvolumen = 70 %



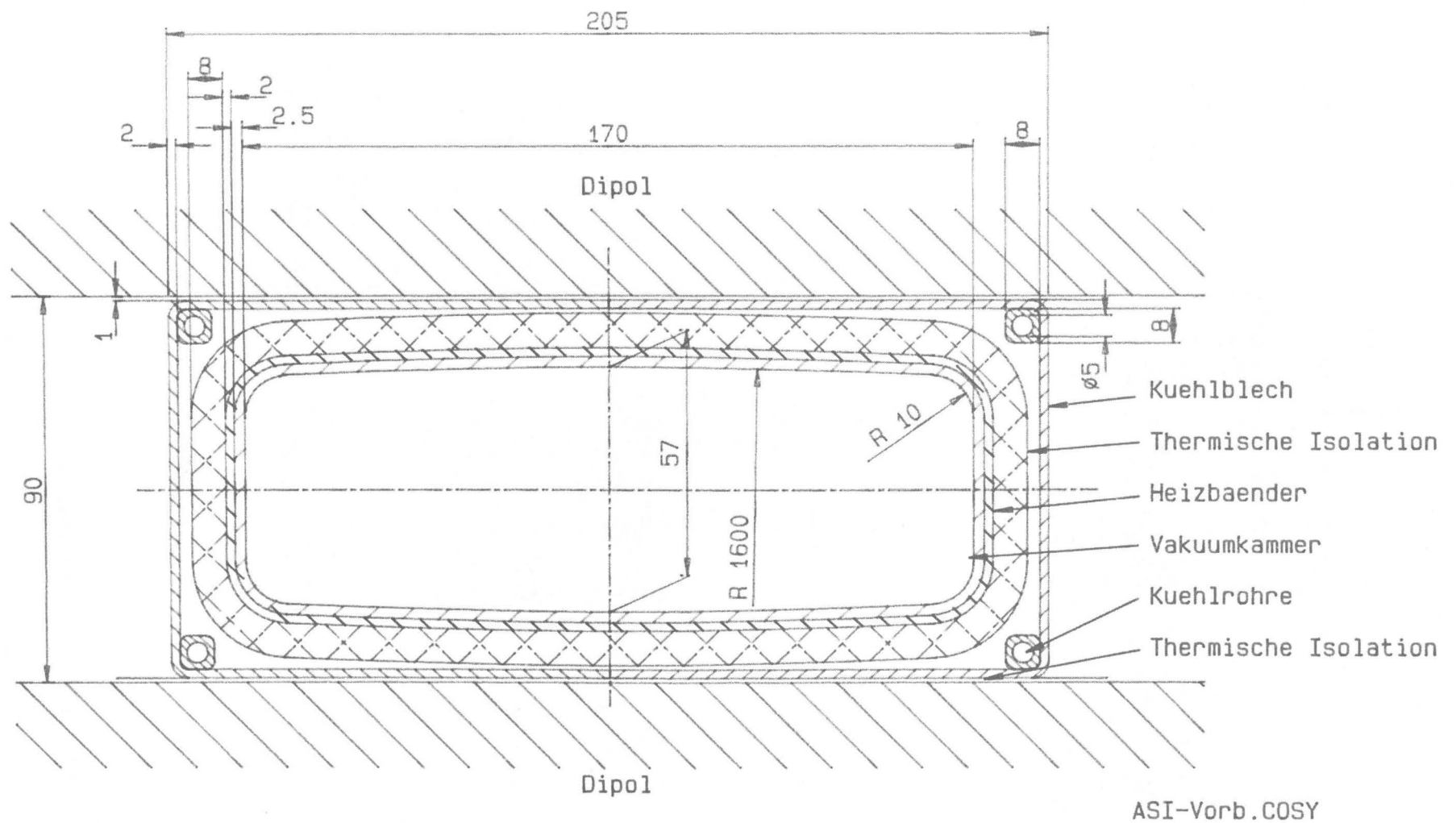


Abb. 13: Querschnitt durch die ausheizbare Vakuum-Kammer in den Dipolen.

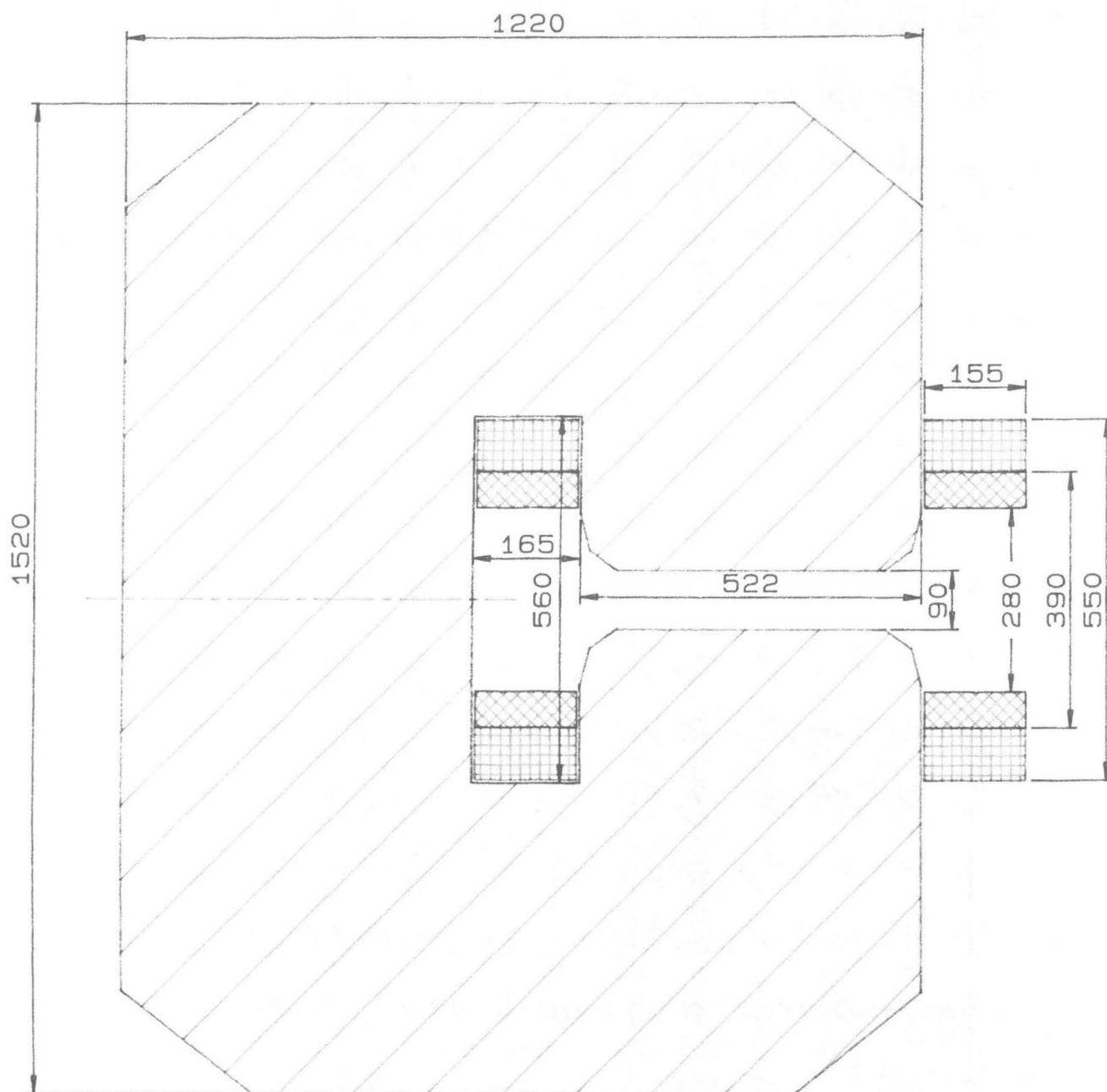
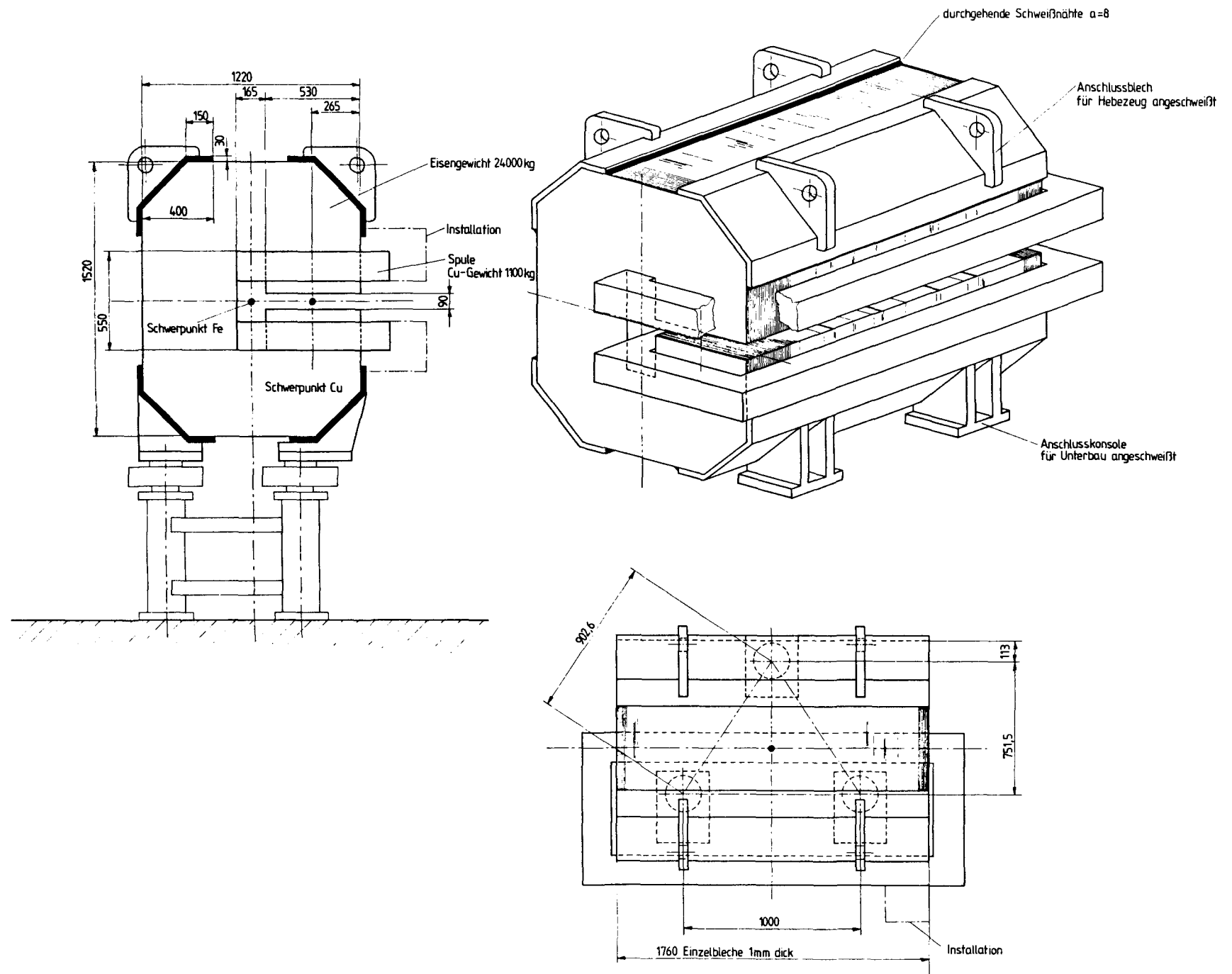


Abb. 14: COSY - Dipol (MDi).

Abb. 15: COSY - Dipol, Zusammenstellung.



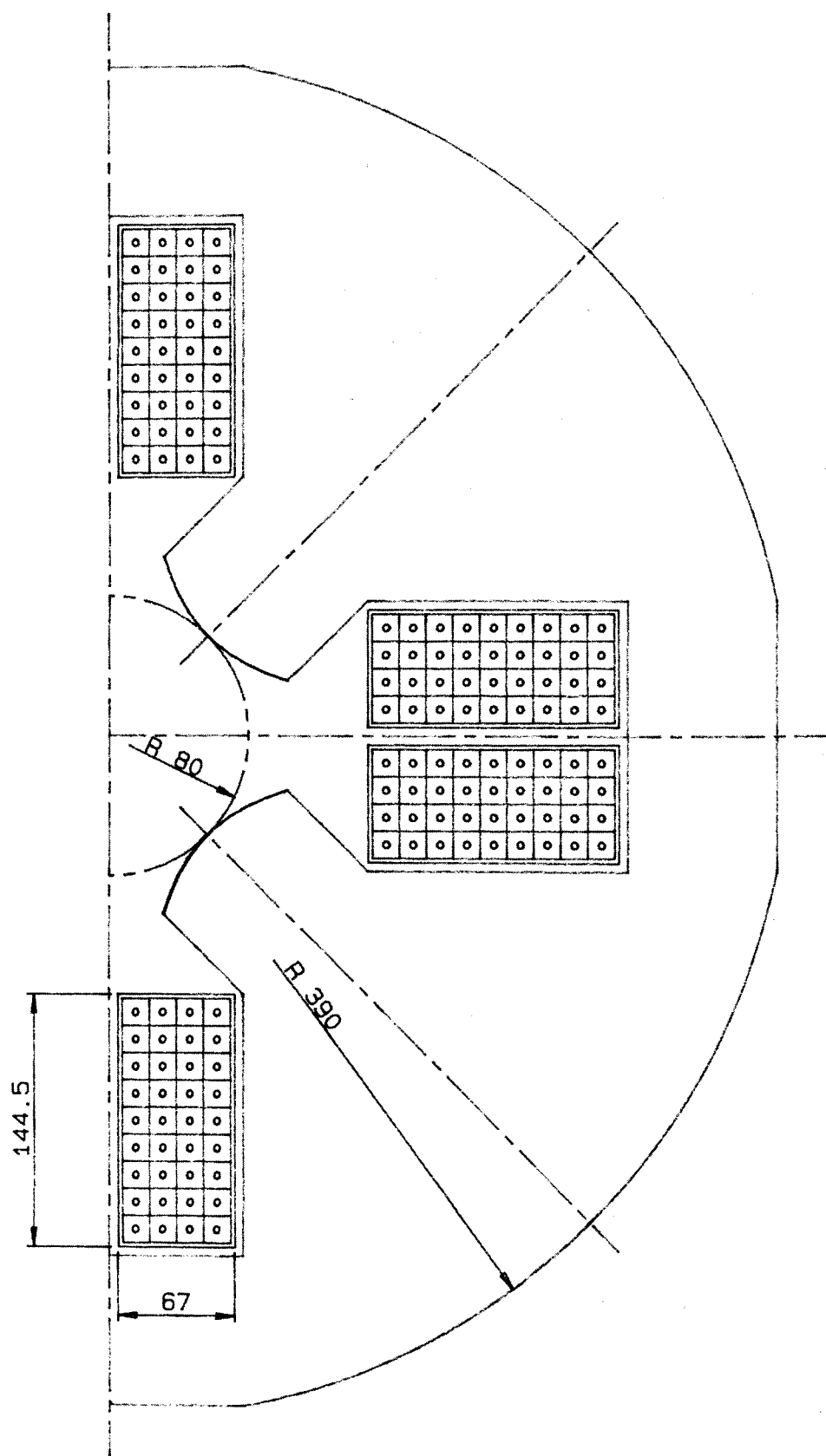


Abb. 16: COSY-Quadrupol (MQUi, MQTi, MQCi).

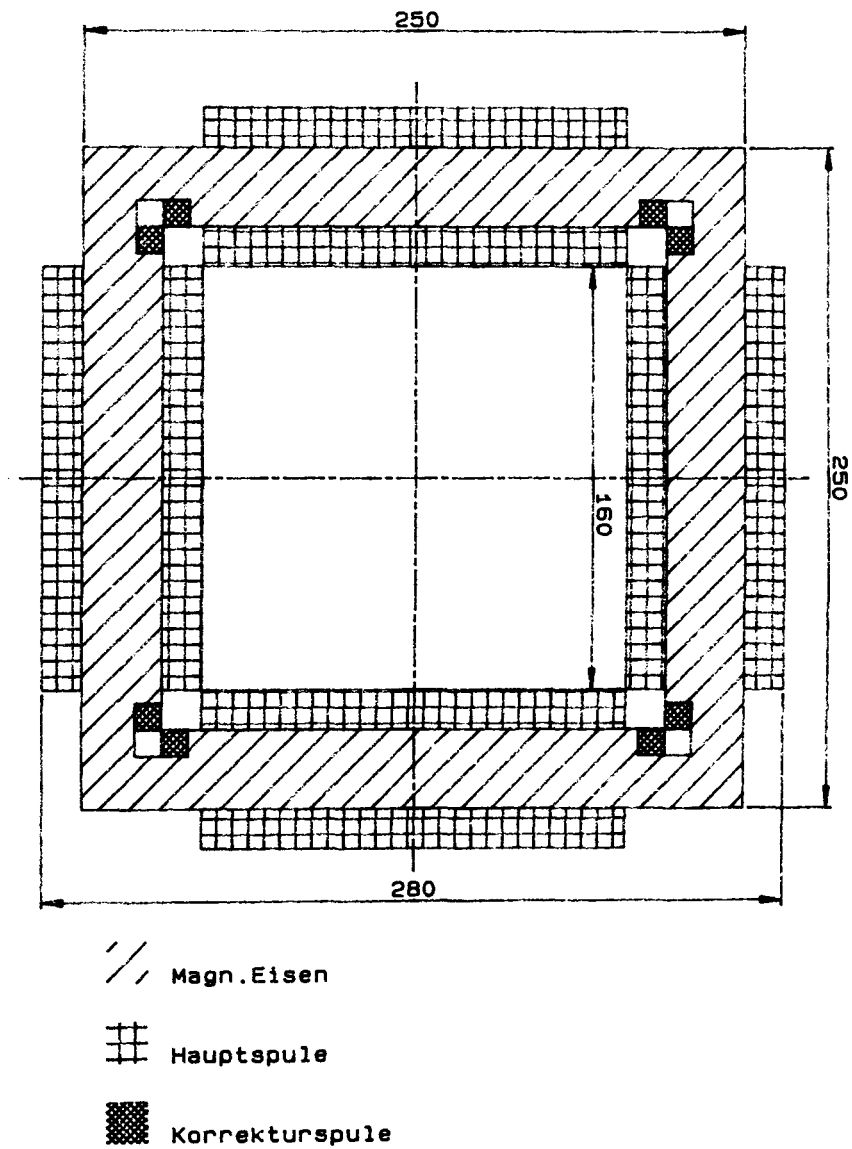


Abb. 17: Korrektur-Magnet für COSY.

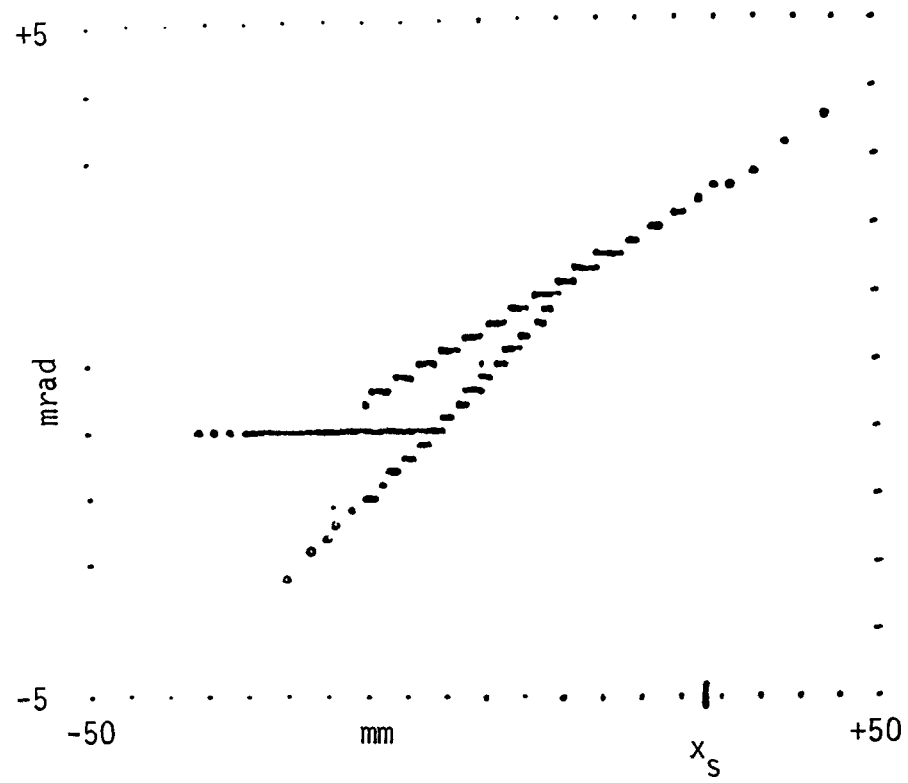


Abb. 18: Separatrices im horizontalen Phasenraum.  
Die Position des Septums ist  $x_s$ .

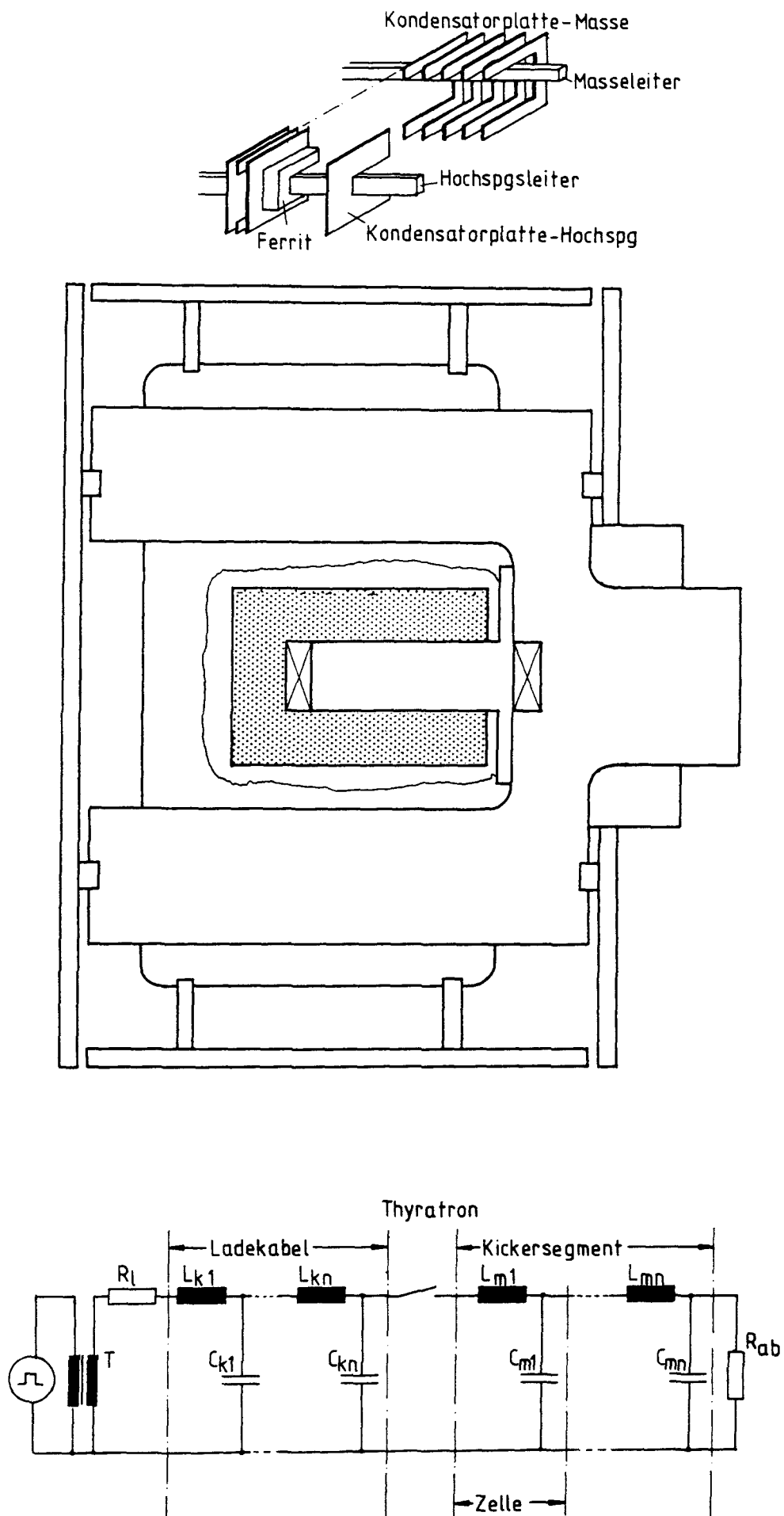
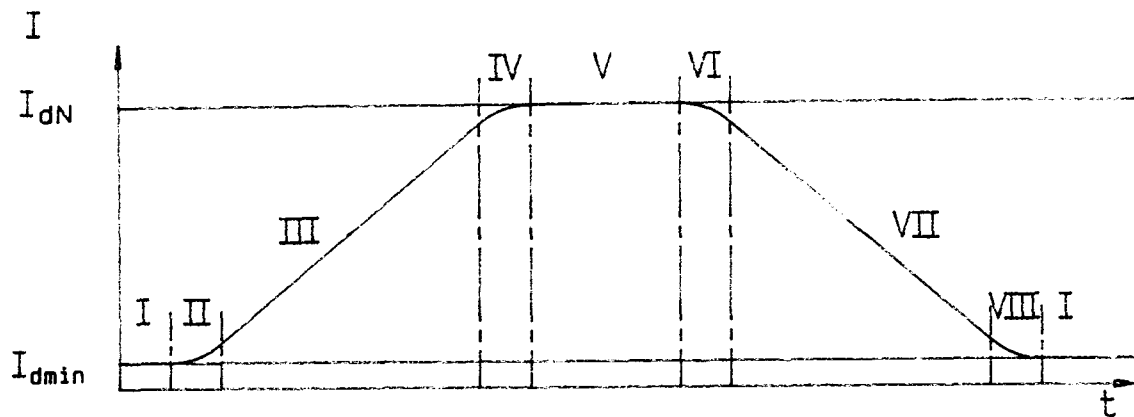


Abb. 19: Kicker mit Ersatzschaltbild der Hochspannungs-Schalter-Anordnung.



	t	Stromtoleranzen*		I <sub>dN</sub>		di/dt		
		MQ	MD	MQ	MD	MQ	MD	
I	<100ms	$\pm 1 \times 10^{-3}$	$\pm 1 \times 10^{-3}$	50A	150A			Füllzeit
II	100ms	$\pm 7 \times 10^{-3}$	$\pm 1.6 \times 10^{-3}$					
III	1.6s	$\pm 7 \times 10^{-3}$	$\pm 1.6 \times 10^{-3}$			650A/s	1500A/s	
IV	200ms	$\pm 7 \times 10^{-3}$	$\pm 1.6 \times 10^{-3}$					
V <sub>a</sub>	>1000s	$\pm 1.3 \times 10^{-3}$	$\pm 1 \times 10^{-4}$ **	1000A	2340A			Speicherbetrieb
V <sub>b</sub>	100ms							Synchrotronbetrieb
VI	200ms	beliebig	beliebig					
VII	1.6s	beliebig	beliebig			650A/s	1500A/s	
VIII	<100ms	beliebig	beliebig					

\*gilt für den Bereich I<sub>dmin</sub>-I<sub>dN</sub>

\*\*gilt für den Bereich 0.12I<sub>dN</sub> - I<sub>dN</sub>

Abb. 20: Anforderungen an die Netzgeräte und Stabilitäten der Ströme.



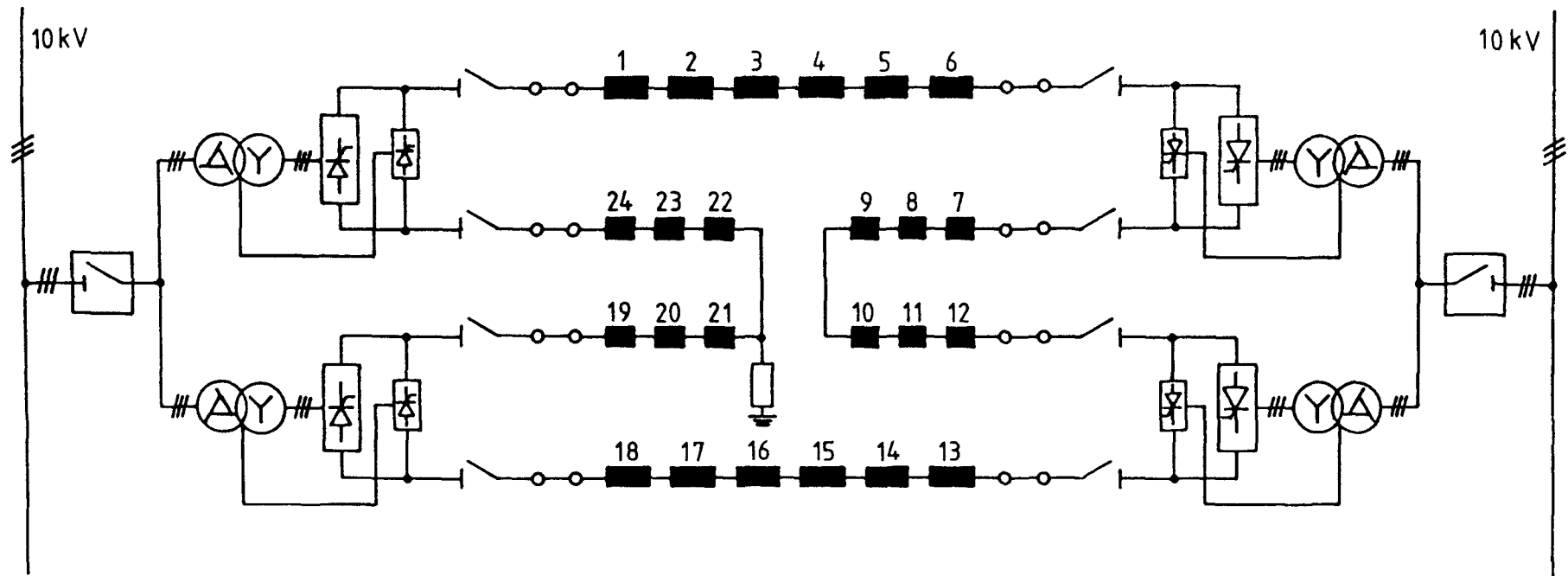


Abb. 21: Stromrichterversorgung der Dipole MD1 bis MD24.

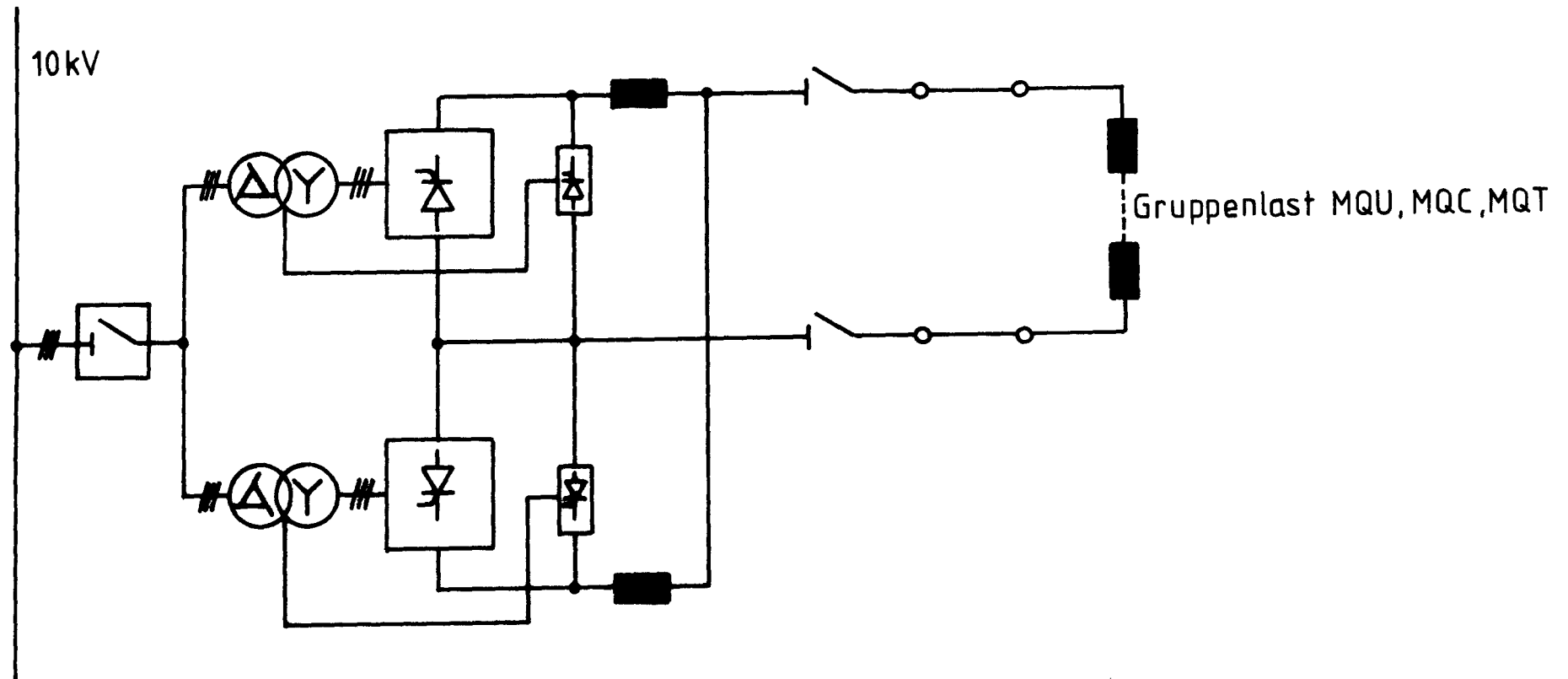


Abb. 22: Stromrichterversorgung der Quadropole MQUi, MQCi und MQTi.

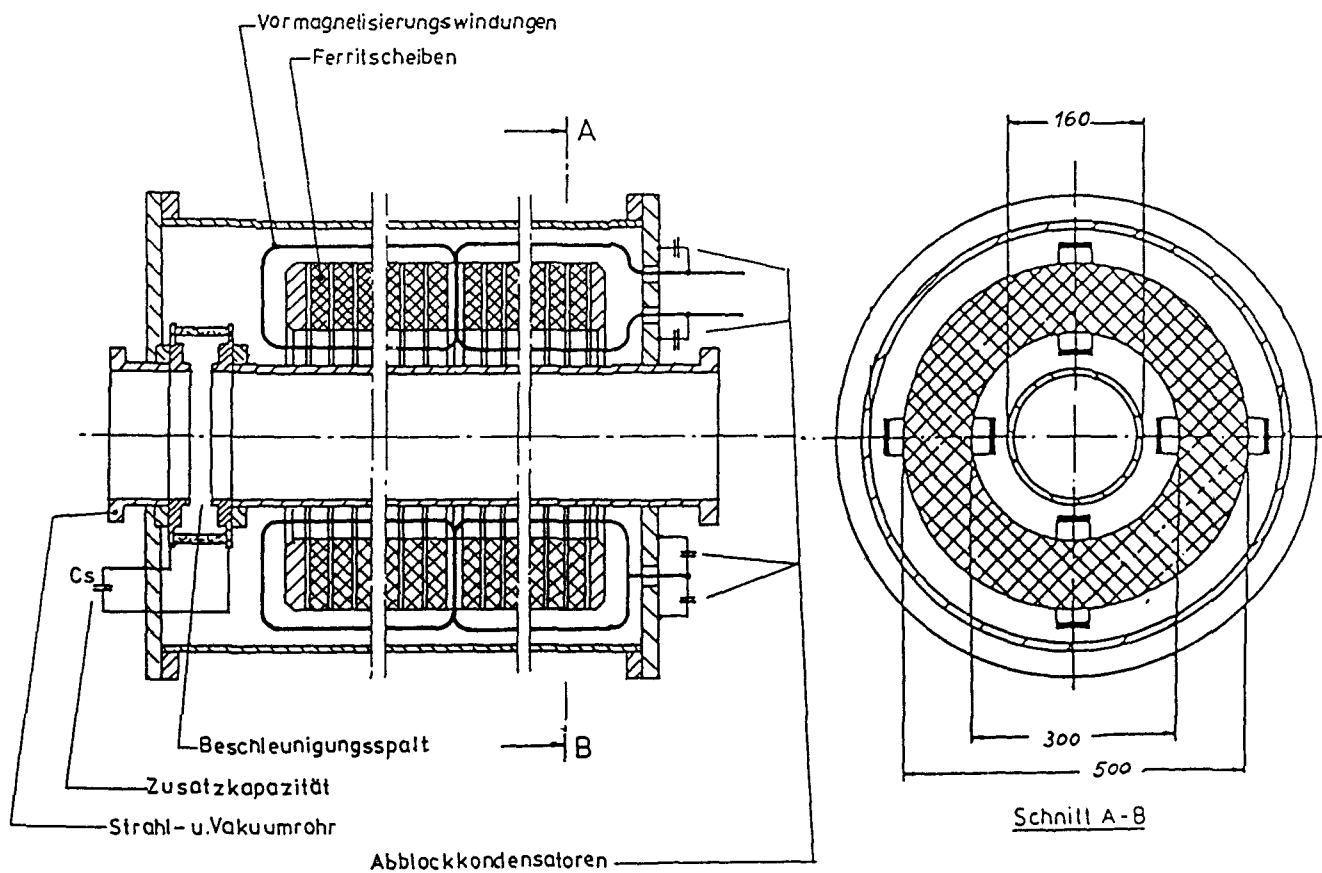


Abb. 23: Ferrit-abgestimmter Schwingkreis zur Teilchen-Beschleunigung:  
Grundsätzlicher Aufbau

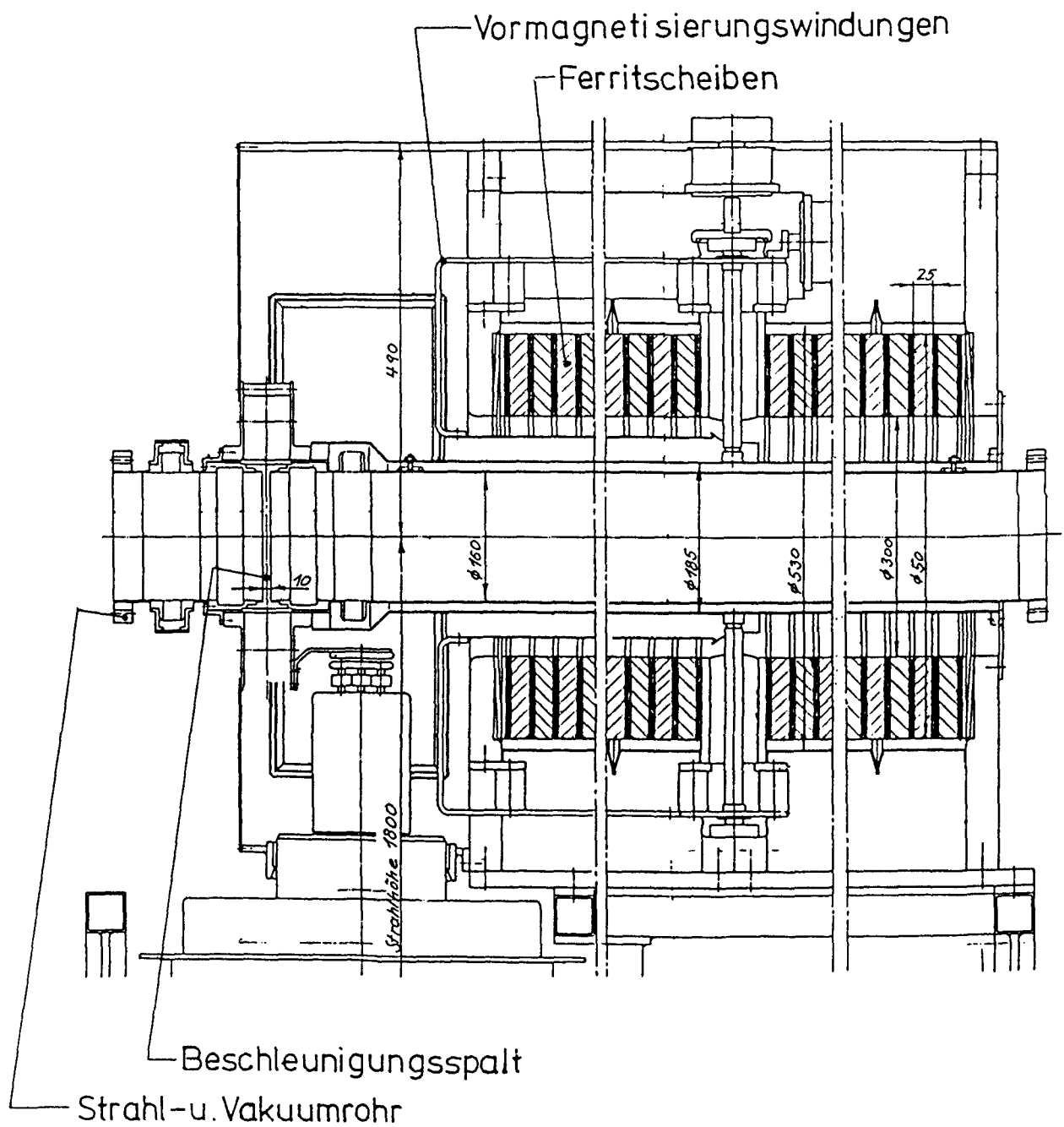


Abb. 24: Ferrit-abgestimmter Schwingkreis zur Teilchen-Beschleunigung:  
Technische Ausführung nach ACOL [SU-85]

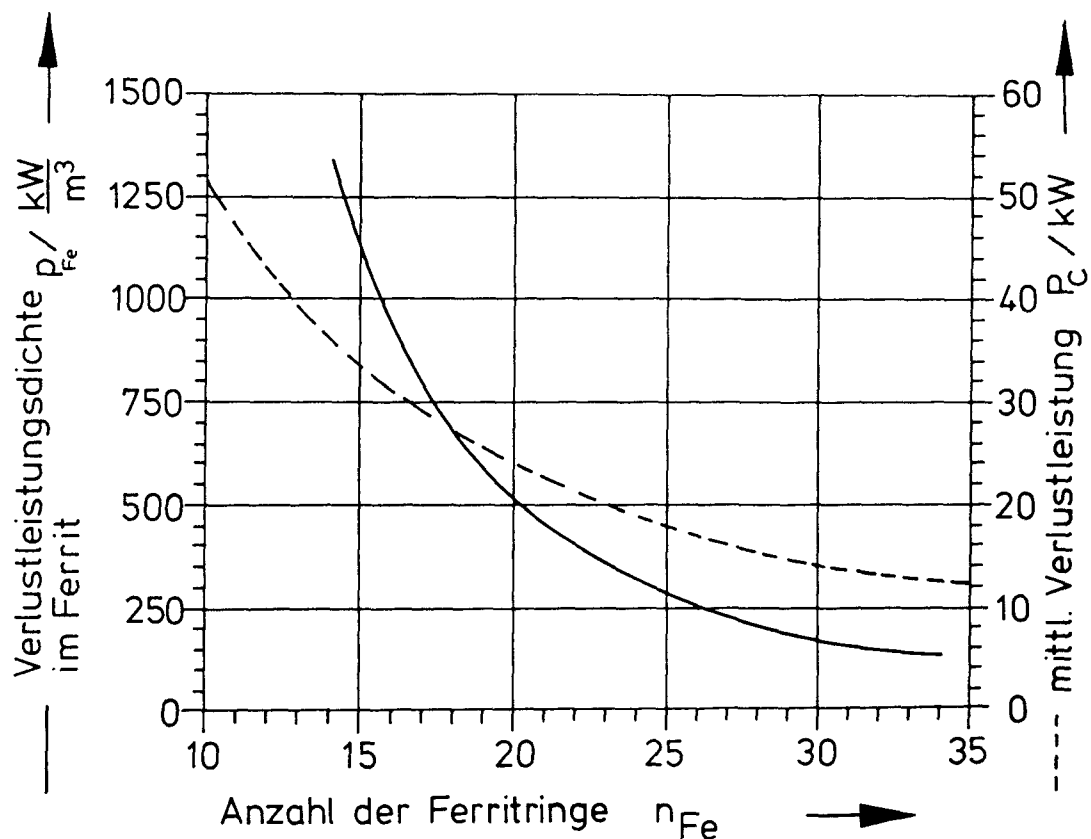


Abb. 25    Höchste Verlustleistungsdichte im Ferrit und höchste Gesamtleistung in Abhängigkeit von der Anzahl der Ferrit-Ringe  $n_{Fe}$  für einen ferrit-abgestimmten Schwingkreis nach vorangehender Abb. mit den Werten:

Dicke der Ferrit-Ringe	:	$l_{Fe} = 25 \text{ mm}$
Beschleunigungsspalt-Spannung:		$U_c = 5.0 \text{ kV}$
Tastverhältnis:		$V_t = 60 \%$
Vormagnetisierungs-Gleichstrom:		$I_M = 21 - 600 \text{ A}$

— Höchste auftretende Verlustleistungsdichte im Ferrit,  
... Höchste auftretende Gesamtleistung  
innerhalb des Frequenzbereiches  $0.46 < f_c < 1.57 \text{ MHz}$   
zeitgemittelte Werte

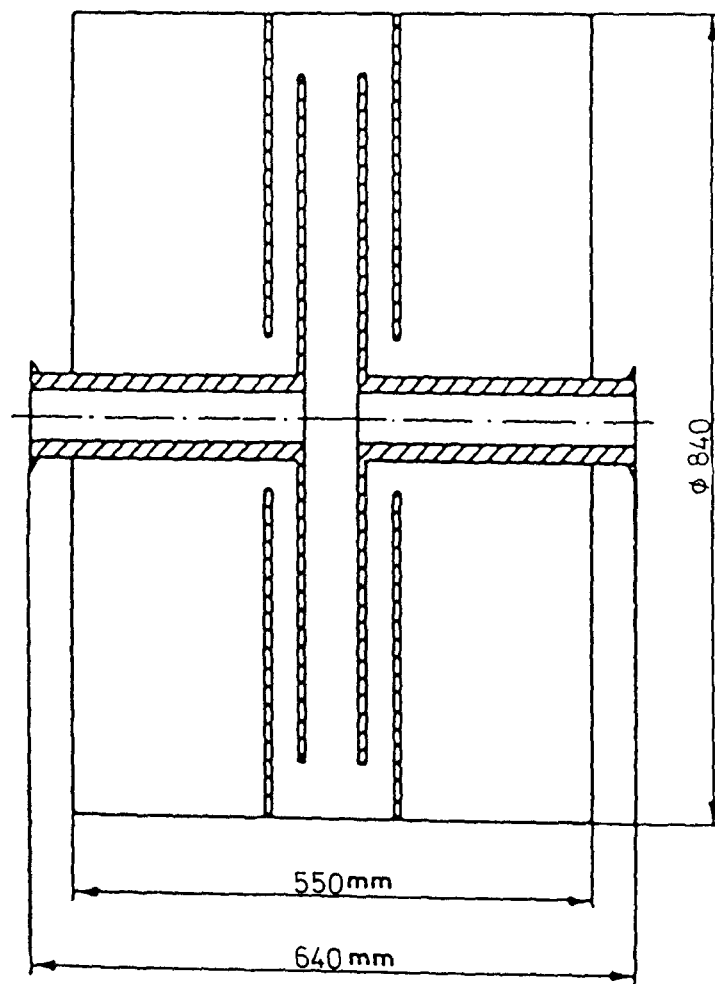


Abb. 26: Resonator für 27.6 MHz, skaliert nach dem 9.5-MHz-Resonator von ACOL<sup>Wi83</sup>).

Güte:	$Q_0$	=	5000
Parallel-Ersatzwiderstand:	$R_c$	=	200 kOhm
Kennwiderstand:	$R_c/Q_0$	=	40 Ohm
Laufzeitfaktor:	TTF	=	1

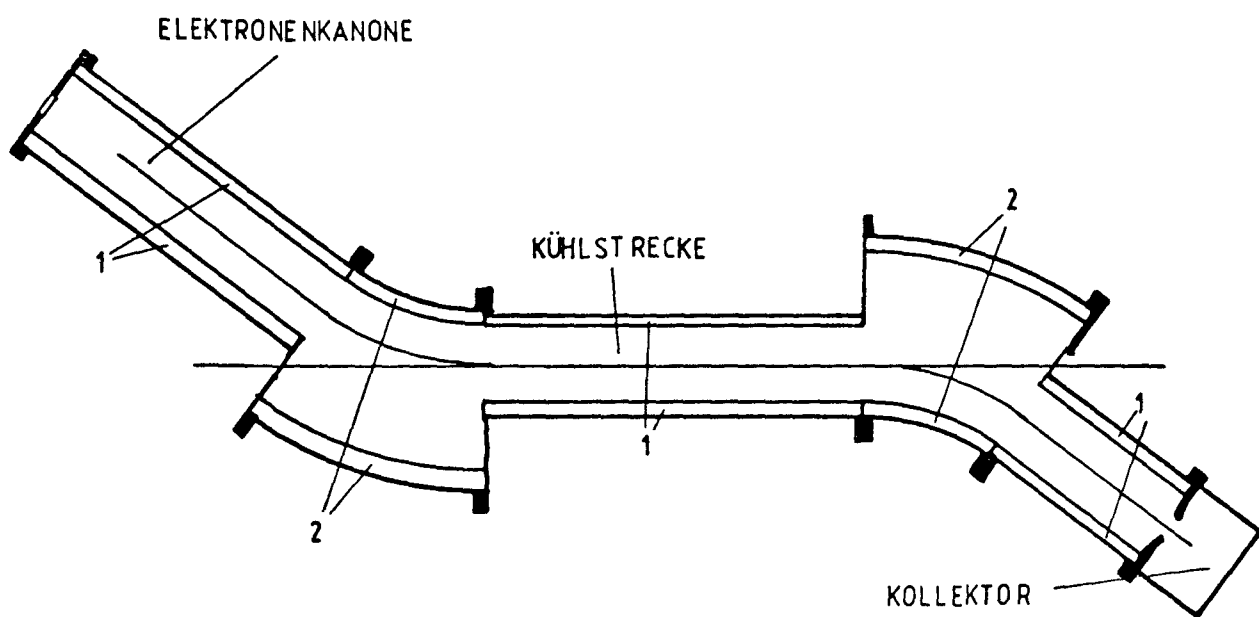
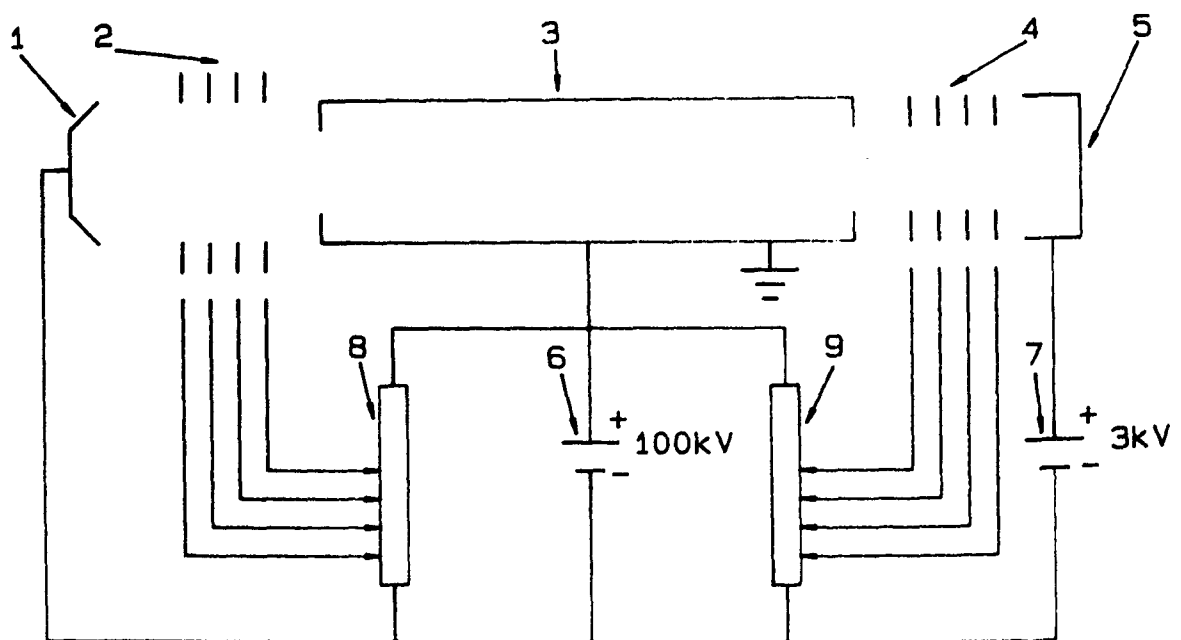


Abb. 27: Elektronen-Kühler, Gesamt-Anordnung  
 Magnet-Auslegung: 1 = Solenoid, 2 = Toroid



- |                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| 1 KATHODE        | 6 HOCHSPANNUNGSVERSORGUNG |
| 2 ANODE          | 7 KOLLEKTORVERSORGUNG     |
| 3 KUEHLSTRECKE   | 8 HOCHSPANNUNGSTEILER     |
| 4 BREMSELEKTRODE | 9 HOCHSPANNUNGSTEILER     |
| 5 KOLLEKTOR      |                           |

Abb. 28: Prinzip-Schaltbild des Elektronen-Kühlers.



- |                       |                         |
|-----------------------|-------------------------|
| 1 Cathode             | W                       |
| 2 Pierce shield       | Ta                      |
| 3 Heat sink           | Mo                      |
| 4 Gas cooled base     | Cu                      |
| 5 Cathode feedthrough | $\text{Al}_2\text{O}_3$ |
| 6 Anode feedthrough   | $\text{Al}_2\text{O}_3$ |
| 7 Bellows             | s.s.                    |
| 8 Anodes              | Ti                      |
| 9 Anode               | Cu                      |
| 10. Anode support     | $\text{Al}_2\text{O}_3$ |

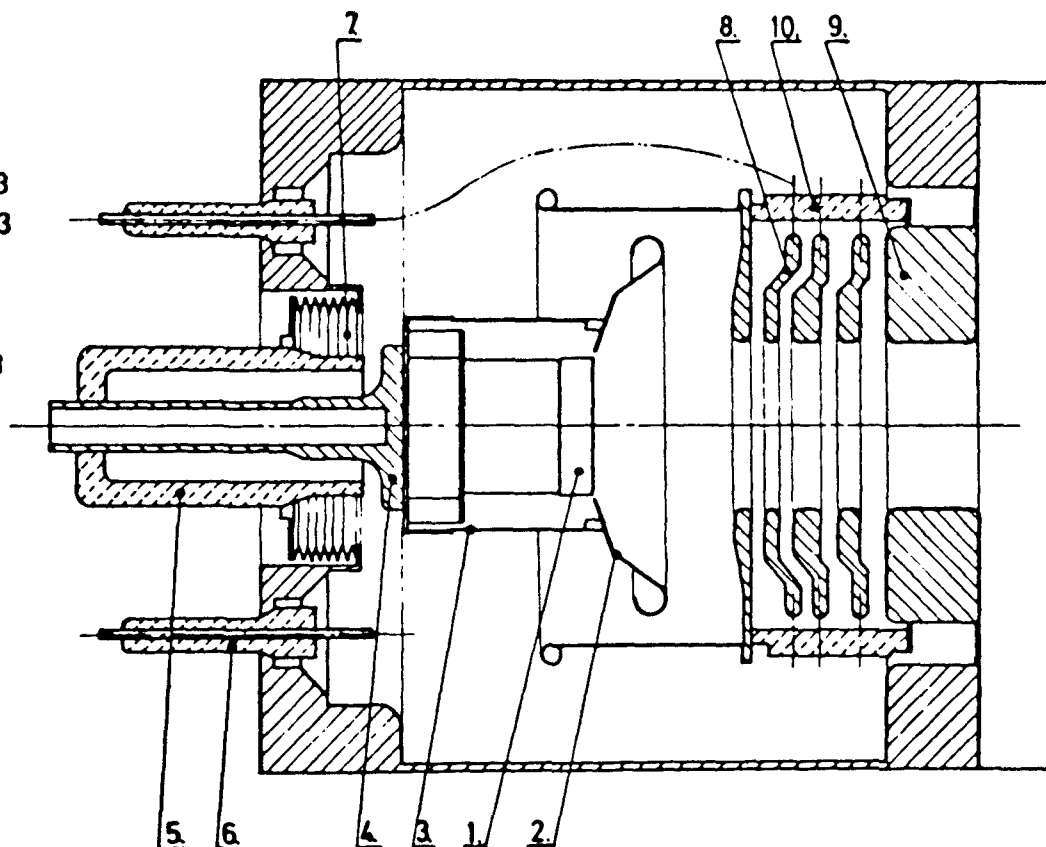


Abb. 29: Elektronen-Kanone

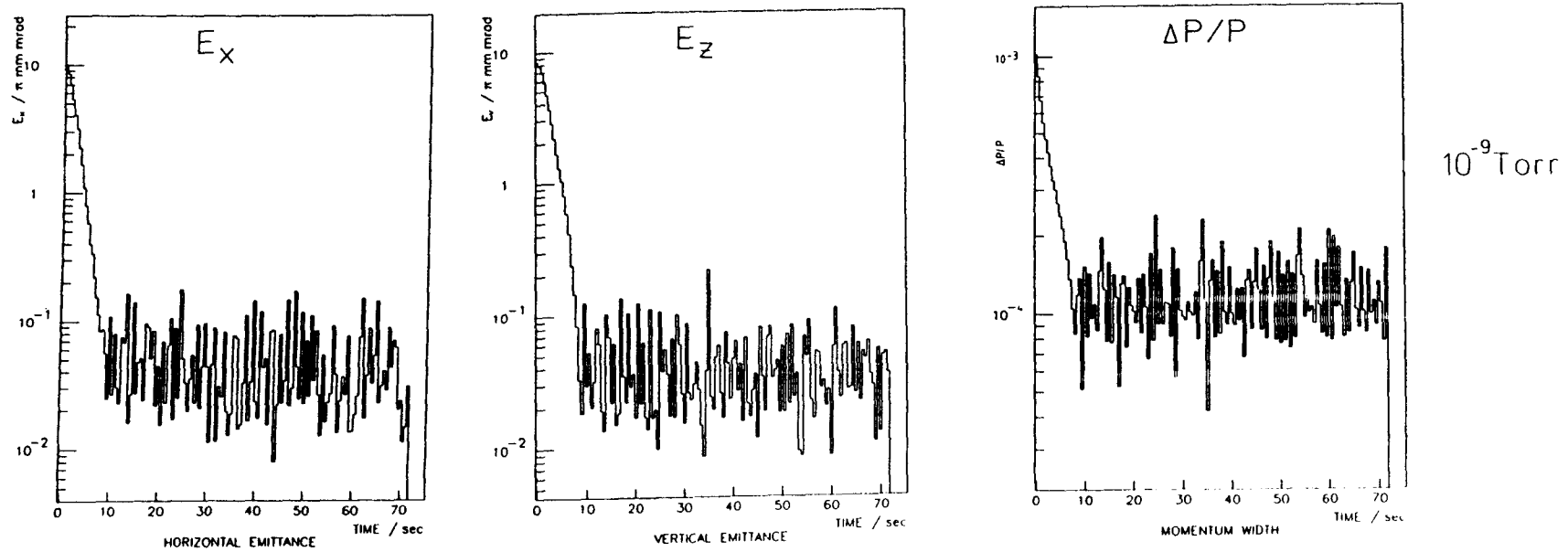


Abb. 30: Horizontale und vertikale Gleichgewichts-Emittanzen und Impuls-Unschärfe des Protonen-Strahles für ein Vakuum von  $10^{-9}$  mbar.

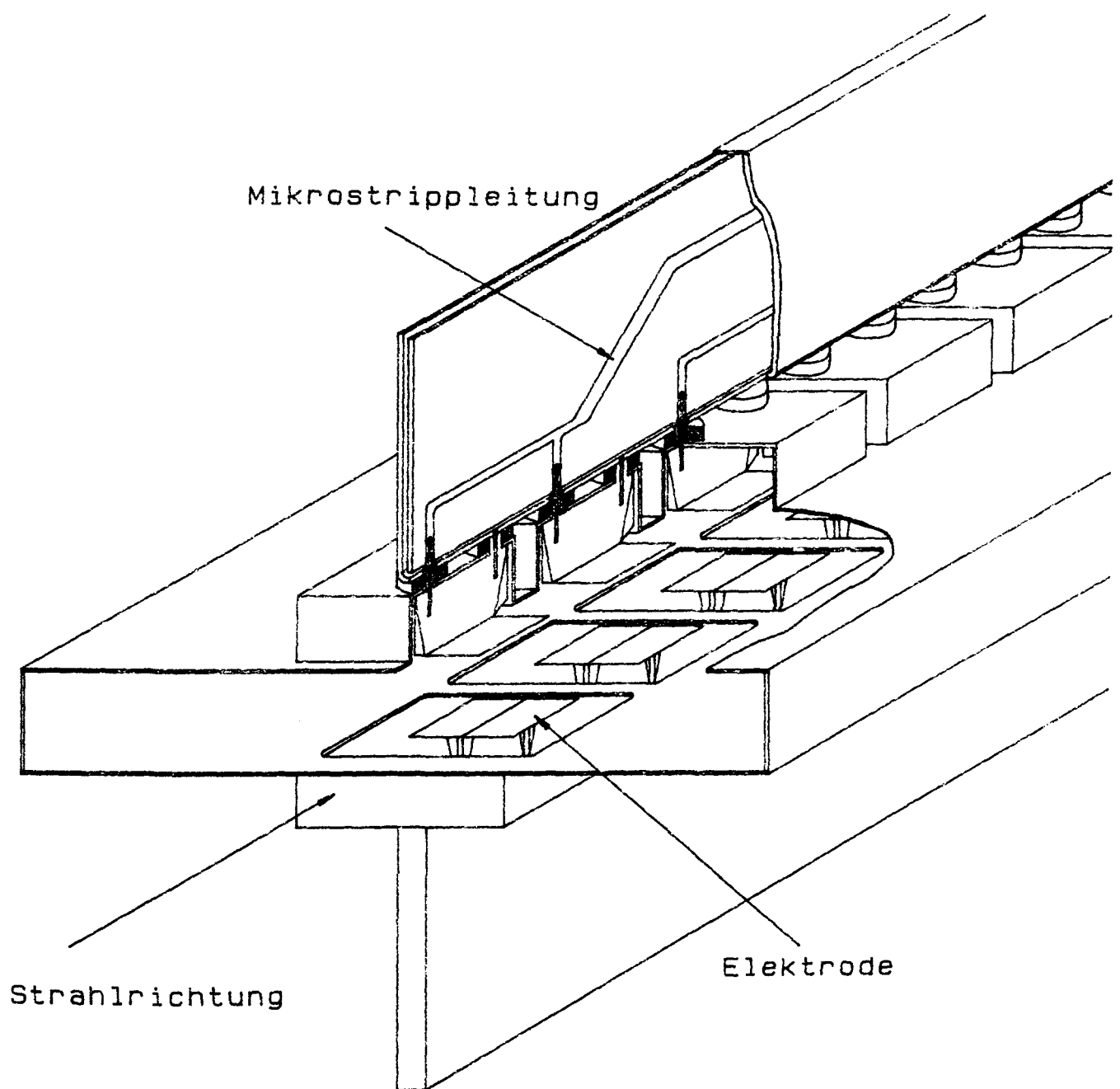


Abb. 31: Schematische Darstellung einer Pick-Up und Kicker-Einheit für stochastisches Kühlen.

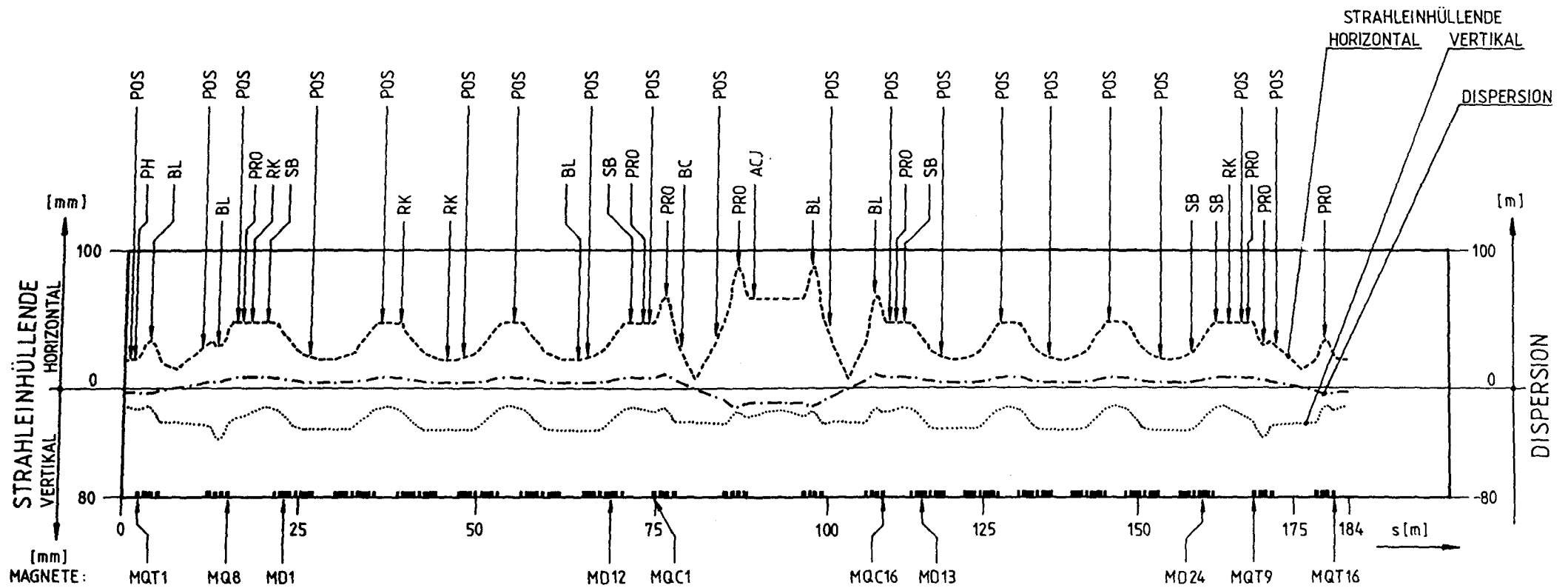


Abb. 32: Positionen der Strahldiagnose-Komponenten im COSY-Ring mit Strahleinhüllenden und Dispersion zum Arbeitspunkt:  $Q_x = 3.867$ ,  $Q_z = 4.119$ .

POS = Positions-Monitor  
 PRO = Profil-Monitor  
 ACJ = Atomic-C-Jet (Profil)  
 PH = Phasensonde  
 BC = Strahlstrom-Transformator  
 SB = Einrichtung zur Strahlbetrachtung  
 BL = Blende  
 RK = Richtkoppler

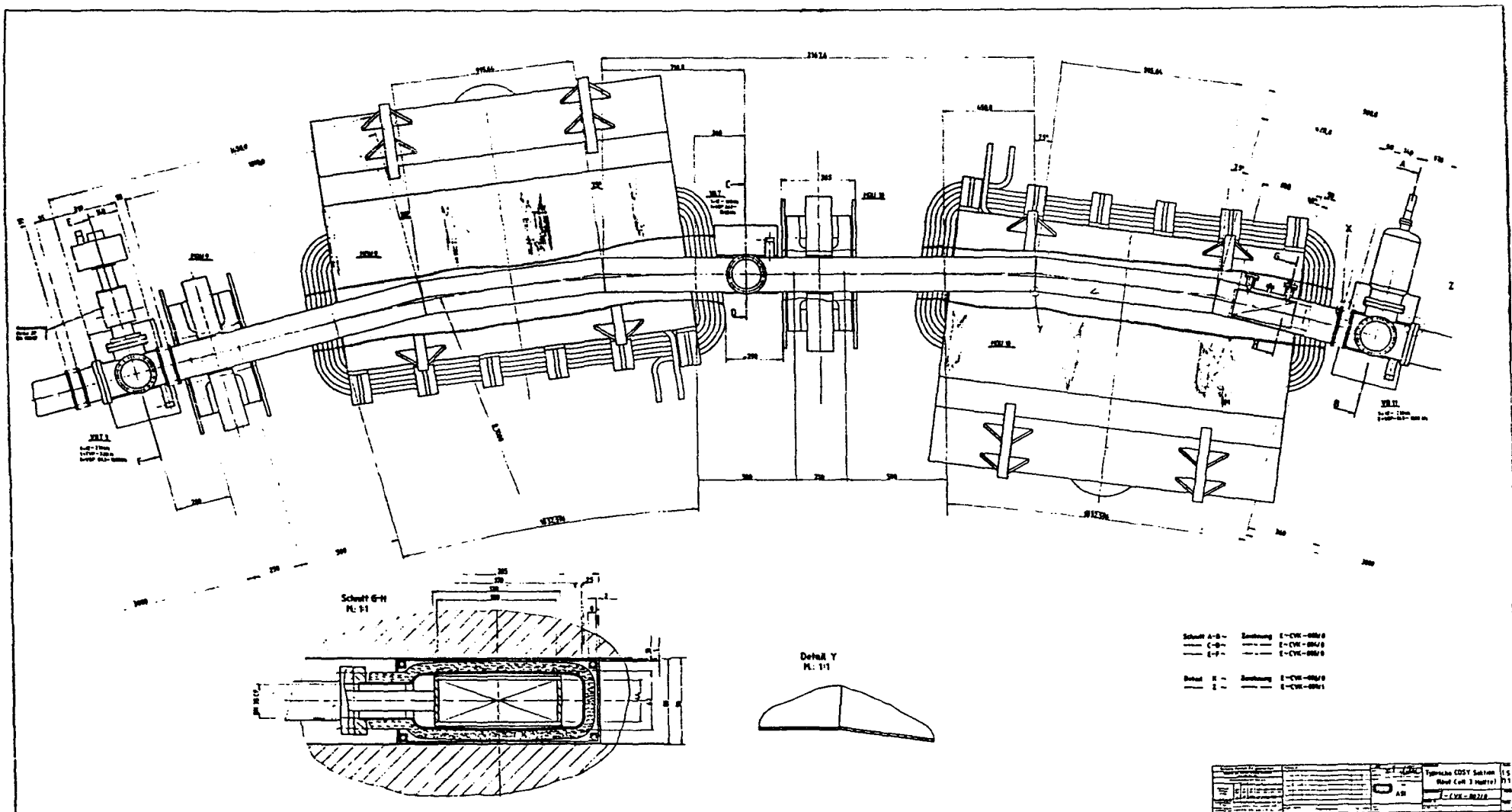


Abb. 33: Hälfte einer Periode der Ringstruktur einschließlich Magnete, Pumpen und Diagnose-Elemente.

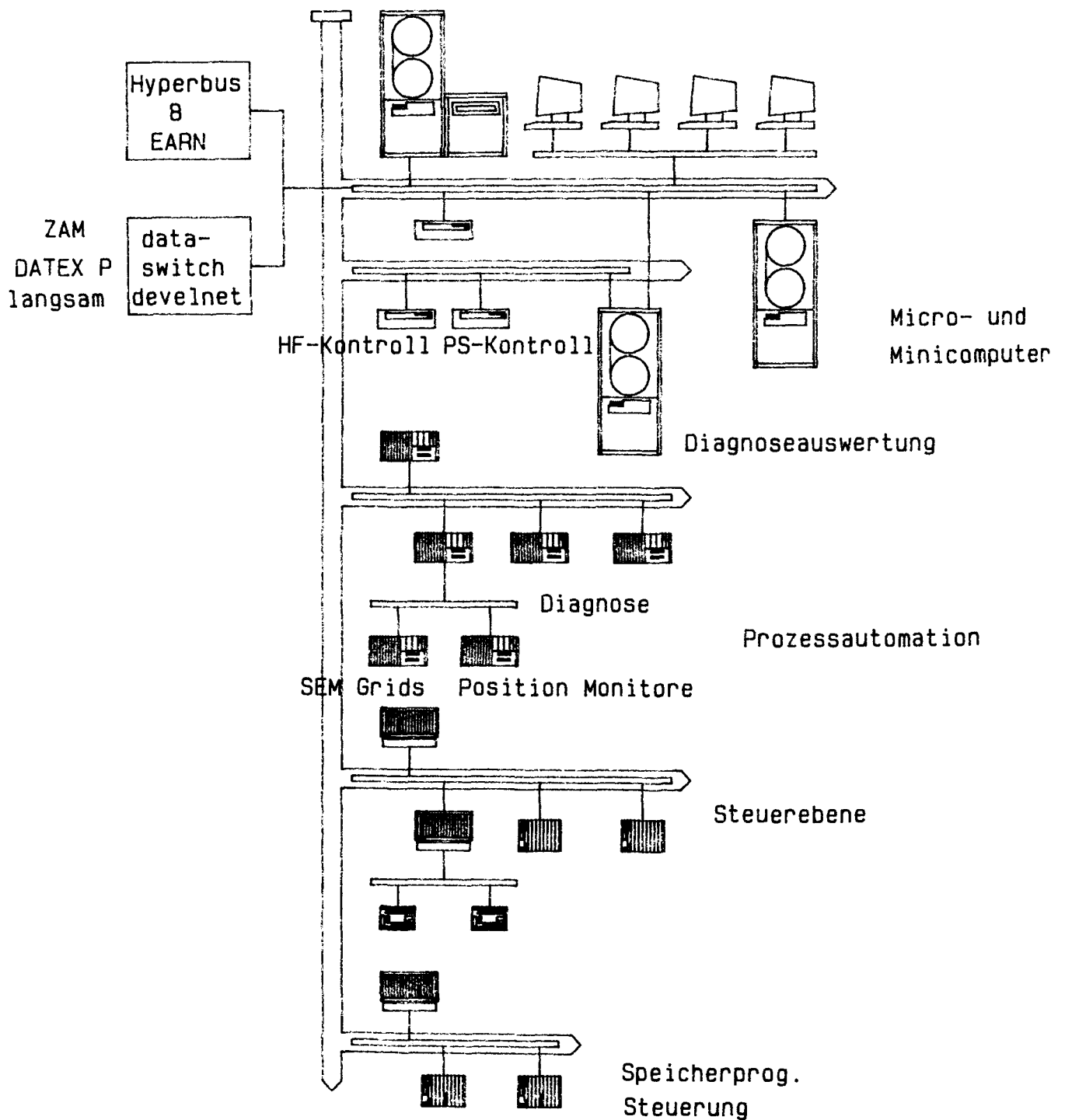


Abb. 34: Schematische Darstellung des Instrumentierungs-Konzeptes für COSY.

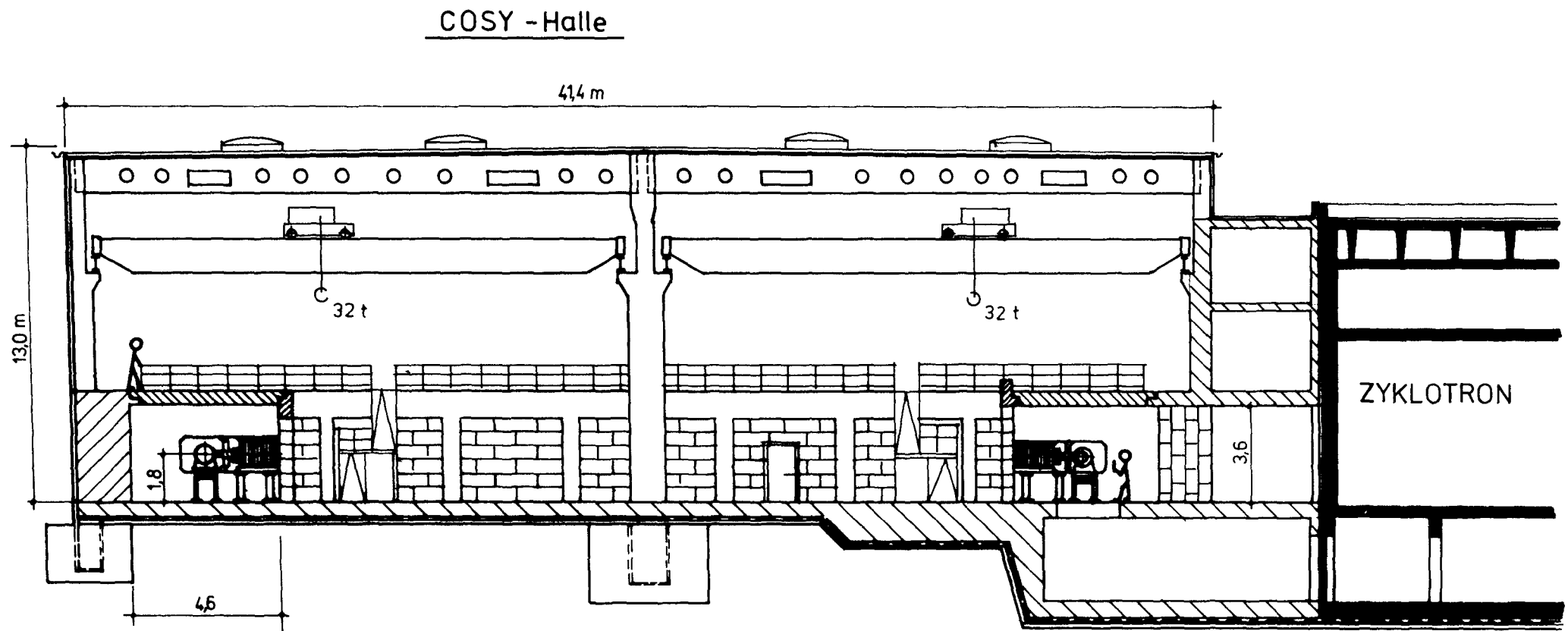


Abb. 35: Querschnitt der COSY-Halle.

Querschnitt 1-1

